

# 科技创新与工程

## Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 4 April 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



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

### 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](mailto: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 4 April 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 江河凹岸减速促淤防护体的构造型式与现场施工适应性研究 / 宋阳 陈永明 刘冬梅 张晓辉 朴永柱
- 4 非煤矿山安全预评价中探地雷达集成应用研究 / 卫敬哲 侯拴龙 钟寒江 任聪瑞
- 7 4K 新闻演播室信号链双向变换系统设计 / 陈孝
- 10 一种北斗区域性短报文通信模块硬件电路实现 / 刘相志
- 13 汉钢公司高炉经济炉料路线冶炼实践 / 孙晨晨 强丽娟 惠宏智 杨帆 黄欣力
- 17 基于案例的机械自动化设备课题研发方法与路径解析 / 范维 安琪 张翠
- 20 矮小哈萨克斯坦酵母菌与旧金山果实乳杆菌共发酵对面团及馒头品质影响的研究进展 / 付敖 王子成 杜玉娇 王佳瑞 汪鑫
- 23 硬件测试平台设计理念与应用研究 / 姚威
- 26 电力系统储能优化配置及效益分析 / 刘殿礼
- 29 水力压裂技术压力与裂隙发育相关性研究 / 梁广宁 王滨 李文成 郭龙 李元武
- 32 生物检测技术在食品检测中的应用研究 / 刘红梅
- 35 汽车自动雾灯的能见度自适应开启控制策略研究 / 赵正卿
- 38 煤矿掘进巷道锚杆支护的应用分析 / 赵军 胡久彬 刘秋生
- 41 基于物联网的高速公路机电系统运维管理体系研究 / 张虎
- 44 计算机智能结合物联网技术实现福祉养老服务的研究与应用 / 侯刚
- 47 机电引信设计中的可靠性优化策略 / 郭晨光 王少平
- 50 机械液压装置中常见故障与处理方法 / 马凌越
- 53 一种缺陷定位公式在固体推进剂数字实时成像中的应用 / 戴风云
- 56 基于大数据的药品监管检验风险预警机制构建与优化 / 黄月花
- 59 浅析快速充电条件下的电池热管理思路 / 苏博巍
- 62 一种新型冷泡茶产品的研发：工艺优化与性能评价 / 鲍王栋 叶红燕 吴慧群
- 65 新能源整车能耗测试创新及对续航评估影响 / 王雄爽
- 68 工程质量检测行业监管体系的现存问题与优化对策 / 厉伟
- 71 变革时期下人工智能发展趋势分析 / 阎予成 薛琴 陈飞虎
- 74 基于机器视觉的打叶复烤杂物在线检测技术探讨 / 张晓
- 77 广播电视台与元宇宙的融合探索——开启沉浸式视听新纪元 / 方晶
- 81 长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究 / 鲁锋涛 张崇耿 张海鹏 张帆 李聪
- 84 船舶与海洋工程结构腐蚀防护新技术探索 / 金艳
- 87 突发公共事件中主流媒体的舆论引导策略 / 黄鹏
- 90 药品上市许可持有人（B 证）质量沟通机制与跨主体协同风险管理研究 - 基于数字化科技创新的工程化构建路径 / 王树坤
- 93 常见团餐品类留样在柜中每 8 小时菌落增长曲线特征研究 / 郝星宇 张卫 凌晨 夏卫国 陶丽媛
- 96 基于大型 PCTC 船建造工艺和管理技术的研究与应用 / 刘杰 陈力
- 99 建筑工程新影像技术初探—建筑工程影像的专业化发展与应用边界拓展的构想 / 赵大千

- 1 Study on the structural form and adaptability of river bank deceleration and silt protection body to field construction / Yang Song Yongming Chen Dongmei Liu Xiaohui Zhang Yongzhu Piao
- 4 Research on GPR Integration for Safety Pre-assessment in Non-coal Mines / Jingzhe Wei Shuanlong Hou Hanjiang Zhong Congrui Ren
- 7 Design of bidirectional signal chain conversion system for 4K news studio / Xiao Chen
- 10 The hardware circuit implementation of a Beidou regional short message communication module / Xiangzhi Liu
- 13 The Operational Practice of Using Economic Burden in Blast Furnaces of Hanzhong Steel / Chenchen Sun Lijuan Qiang Hongzhi Hui Fan Yang XinLi Huang
- 17 Case-based research and development method and path analysis of mechanical automation equipment / Wei Fan Qi An Cui Zhang
- 20 Research Progress on the Impact of Co-fermentation of *Kazachstania humilis* and *Fructilactobacillus sanfranciscensis* on Quality of Dough and Steamed Breads / Ao Fu Zicheng Wang Yujiao Du Jiarui Wang Xin Wang
- 23 Research on design concept and application of hardware test platform / Wei Yao
- 26 Optimization configuration and benefit analysis of energy storage in power system / Dianli Liu
- 29 Research on the correlation between pressure and fracture development in hydraulic fracturing technology / Guangning Liang Bin Wang Wencheng Li Long Guo Yuanwu Li
- 32 Application of bio-technological methods in food testing / Hongmei Liu
- 35 Research on the Visibility Adaptive On Control Strategy of Automatic Auto Fog Light / Zhengqing Zhao
- 38 Application analysis of anchor support in coal mine roadway excavation / Jun Zhao Jiubin Hu Qiusheng Liu
- 41 Research on Operation and Maintenance Management Sys- tem of Electromechanical Systems for Internet of Things Expressways / Hu Zhang
- 44 Research and application of computer intelligence combined with Internet of Things technology to achieve welfare and elderly care services / Gang Hou
- 47 Reliability Optimization Strategy in Electromechanical Fuze Design / Chengguang Guo Shaoping Wang
- 50 Common faults and treatment methods in mechanical hydraulic devices by / Lingyue Ma
- 53 Application of a Defect Localization Formula in Real time Digital Imaging of Solid Propellants / Fengyun Dai
- 56 Construction and optimization of drug regulatory inspection risk early warning mechanism based on big data / Yuehua Huang
- 59 This paper briefly analyzes the battery thermal management under the condition of fast charging / Bowei Su
- 62 Research and development of a new type of cold brewed tea: process optimization and performance evaluation / Wangdong Bao Hongyan Ye Huiqun Wu
- 65 Innovation of new energy vehicle energy consumption test and its influence on range evaluation / Xiongshuang Wang
- 68 Current issues and optimization strategies for the regulatory system of the construction quality inspection industry / Wei Li
- 71 Analysis of the Development Trend of Artificial Intelligence in the Era of Change / Yucheng Yan Qin Xue Feihu Chen
- 74 Discussion on machine vision based leaf roasting debris online detection technology / Xiao Zhang
- 77 The integration of broadcast TV and the metaverse—Open a new era of immersive audiovisual / Jing Fang
- 81 Research on the Strength Enhancement Technology of Long Tube Set EPDM Rubber Joint / Fengtao Lu Chonggeng Zhang Haipeng Zhang Fan Zhang Cong Li

- 84 Exploration of New Technologies for Corrosion Protection of Ship and Ocean Engineering Structures / Yan Jin
- 87 Public opinion guidance strategy of mainstream media in public emergencies / Peng Huang
- 90 Research on quality communication mechanism and cross-subject collaborative risk management of drug marketing authorization holder (B license)-engineering construction path based on digital technology innovation / Shukun Wang
- 93 Research on the colony growth curve characteristics of common group meal category samples in cabinets every 8 hours / Xingyu Hao Wei Zhang Chen Ling Weiguo Xia Liyuan Tao
- 96 Research and application of construction technology and management technology for large PCTC ships / Jie Liu Li Chen
- 99 Preliminary exploration of new image technology in construction engineering—The concept of professional development and application boundary expansion of construction engineering images / Daqian Zhao

# Study on the structural form and adaptability of river bank deceleration and silt protection body to field construction

Yang Song<sup>1</sup> Yongming Chen<sup>1</sup> Dongmei Liu<sup>1</sup> Xiaohui Zhang<sup>1</sup> Yongzhu Piao<sup>2</sup>

1. Jilin Water Conservancy Research Institute, Changchun, Jilin, 130000, China

2. Changbai Mountain Protection and Development Zone Command Center for Flood Control, Drought Relief, Early Warning and Monitoring, Changbai Mountain, Jilin, 133613, China

## Abstract

In recent years, while water conservancy projects in the western part of Jilin Province have achieved phased results, there is still a lack of systematic research on the long-term stability control of the concave bank sections. The river concave bank deceleration and siltation protection structures are crucial for river management and soil and water conservation, effectively altering the flow field structure, reducing erosion intensity, and promoting sedimentation stability. Given the unique geomorphology, hydrology, and soil characteristics of the western region of Jilin, it is essential to study the appropriate design and construction adaptability of these protective structures to support the scientific and systematic development of local water conservancy infrastructure. This paper, based on typical engineering practices in concave bank erosion zones, examines four representative deceleration and siltation structures, exploring their structural suitability and on-site construction response characteristics in the western region of Jilin, providing a reference for the regional promotion of such projects.

## Keywords

western Jilin Province; river concave bank; deceleration and silt protection body; structural form; on-site construction adaptability

# 江河凹岸减速促淤防护体的构造型式与现场施工适应性研究

宋阳<sup>1</sup> 陈永明<sup>1</sup> 刘冬梅<sup>1</sup> 张晓辉<sup>1</sup> 朴永柱<sup>2</sup>

1. 吉林省水利科学研究院, 中国·吉林长春 130000

2. 长白山保护开发区防汛抗旱预警监测指挥中心, 中国·吉林长白山 133613

## 摘要

近年来,吉林省西部地区水利工程建设虽取得阶段性成效,但对凹岸地段的长期稳定性控制仍缺乏系统研究。江河凹岸减速促淤防护体作为河道整治与水土保持的重要措施,在有效改变流场结构、降低冲刷强度、诱导淤积稳定方面具有显著作用。针对吉林西部地区独特的地貌、水文、土壤特性,迫切需要研究适宜该区域的防护体构造型式与施工适应性,以支撑地方水利基础设施建设的科学化与系统化。本文基于典型凹岸冲刷区工程实践,结合4种具有代表性的减速促淤构造形式,深入探讨其在吉林西部的结构适配性与现场施工响应特征,为今后该类工程的区域化推广提供参考。

## 关键词

吉林省西部; 江河凹岸; 减速促淤防护体; 构造型式; 现场施工适应性

## 1 引言

吉林省西部地区包括白城、松原及通榆、乾安等典型干旱区,地表水体以季节性河流为主,河道多呈间歇性流态,年径流量波动大。天然河流一般都是弯曲的,由于河流弯道中流速分布不均匀和断面环流的存在,导致横向输沙不平

衡,河弯凹岸冲刷、凸岸淤积,从而使得沿江河凹岸的防护体受水流冲刷而毁坏。因此,发展以减速促淤为核心理念、与自然过程协同的防护体结构尤显重要。

## 2 江河凹岸减速促淤防护体的构造型式分析

### 2.1 折线式顺坝型防护体

折线式顺坝型防护体采取多段等角错位布置方式,在主坝体顺水流方向按照折线式布局于河岸前缘依次布置若干个次级缓冲单元,从急流中分段导流逐渐降低水流速度,使水流靠岸减速、携沙沉积,在凹岸侧筑成保护性淤积带。该构造形式的防护体坝体一般用浆砌片石或混凝土空心构件筑成,并于内部设置反滤垫层,满足松散砂质岸坡地层需

【基金项目】吉林省重大科技专项(社发领域)“江河凹岸减速促淤新型防护体的关键技术研究”(项目编号:20230203123SF)。

【作者简介】宋阳(1984-),男,满族,中国吉林九台人,本科,高级工程师,从事水利科研研究。

求。同时根部预埋锚筋与基底相连接以增强坝体稳定。这种布置适用于江河弯曲度大、水流惯性强的地区，其可打破集中冲刷区，延缓河道摆动速度，由导流、促淤、护岸为一体的组合型构造<sup>[1]</sup>。

## 2.2 格栅透水桩排式防护体

格栅透水桩排式防护体由多列间距可控的木桩、钢桩或钢筋混凝土桩组合而成，桩间以钢筋网片或竹编格栅连接，整体呈半刚性透水结构。其基本原理是减缓水流速度，降低水体剪切力，形成水流滞缓区，促进泥沙沉积并形成护淤台阶。桩排高度依据设计水位与最大冲刷深度设定，底部嵌入河床一定深度以增强抗拔力，同时预设冲刷过渡平台避免局部淘刷。该构型适宜于土质疏松、水动力不稳定区域，吉林西部砂质凹岸分布广泛，结构布设灵活、施工周期短，有利于在洪水前完成节点封堵。结构间隙允许部分水流渗透，形成引导式缓流区，在稳定流态的同时增强结构本体的承载能力。特别适用于季节性冲刷剧烈的次一级河道。

## 2.3 阶梯式促淤护岸带型防护体

阶梯式促淤护岸带型防护体采用平行于岸线依次设置多级挡墙或堆体形成阶梯状结构，利用台阶间缓坡与沉积面构建高效的淤积空间，逐级削减水流冲击力。阶梯段可选用砂袋、编织袋、混凝土预制块、黏土实心块等材料构筑，结构间设置反滤垫层及排水管道，防止地下水顶托及土体失稳。台阶面向水流方向略作倾斜，利于泥沙回流后沉积<sup>[2]</sup>。该结构重在形态诱导和底部稳定控制，对提高凹岸防冲强度、形成稳定护淤带具有显著作用。该地区干流常见岸坡较缓的泥质或粉砂质堤岸，该类结构能根据地形灵活布设，利于快速形成初始稳定带，是在软质岸坡条件下推广性较强的一种防护形式。

## 2.4 护脚潜堤复合型防护体

护脚潜堤复合型防护体由贴岸护脚结构与水下低位潜堤组合构成，潜堤沿水底设置于主流线偏内侧，护脚结构则贴近岸坡根部延伸设置。潜堤采用石笼网箱、沉管或混凝土块体布设，其作用为抬升近岸水位、削弱底流流速，从而诱导泥沙在凹岸前缘沉积。贴岸护脚部分多采用阶梯式或挡板式构型，主要作用是稳定岸坡基底、防止局部淘刷和翻滚式冲刷。该结构在中等水深、岸坡有一定土壤稳定性的区域应用较多，吉林西部若干断面常存在水深变化剧烈及河床底质不均的情况，此复合结构在保守处理基础上的功能叠加，有利于多重防护与诱导沉积过程的并行展开，具备良好的应用前景。

# 3 江河凹岸减速促淤防护体构造型式的现场施工适应性研究

## 3.1 折线式顺坝型防护体的现场施工适应性分析

折线式顺坝型防护体在吉林西部具有一定现场适应性，尤宜于弯曲度高、来流惯性强、冲刷较严重的河段。结合实

践来看，这一区域江河主要属平原型慢坡河流，局部弯道半径小、流速分布不均匀，利用此结构可以建造多段导流系统以减缓流速。比如针对松嫩平原南部洼地性河道，这种类型的结构可以利用空间折线对水流的引导作用，在不同区域之间形成多个“缓冲滞留区”而诱导出局部淤积带，从而起到对凹岸冲刷的制约作用。但是就目前来看，折线式顺坝型防护体存在基础承载力以及岸坡稳定性要求较高的不足。该地区部分区域岸坡为粉砂质或风积细砂土，结构基础需依赖较高的地基强度，若未进行有效加固，折角段易因流体绕射而产生局部冲刷集中<sup>[3]</sup>。此外，该区域年温差大、冬季结冰严重，冰凌堆积易对坝体折角节点产生侧向推力，不利于长期结构稳定。对于未封冻河段，冰压频率高，需综合考虑结构受力重心分布及河床变形响应。从资源匹配角度看，吉林西部地区可就地取材的砂石资源较为有限，部分区域建设所需材料需外运，可能对结构经济性和实施周期造成制约。此外，因该结构折线布设需要较高精度的定位放线与岸线协调，对作业环境的开阔度及岸坡几何形态要求高，不适合于河道空间受限或岸坡自然植被密集区。因此，该结构适宜于地形开阔、岸基承载力较高且具备一定导流需求的中大弯段，在具备水工基础条件的地区具良好适配性，但在松软基质或封冻严重的河段则应慎用或结合结构优化设计。

## 3.2 格栅透水桩排式防护体的现场施工适应性分析

格栅透水桩排式防护体在吉林西部的现场适应性表现出一定的多样性，特别适合用于次一级河道、支流沟渠及岸坡破坏非结构性强的区域。该地区大量河段具有季节性流态，丰水期出现强流冲刷，枯水期基本断流，使得透水结构可有效在低流速条件下诱导水流扰动并促成泥沙滞留，是典型的非阻断型柔性诱导结构，与西部多变的河流动力学特征具有高度契合性。然而，其现场适应性受限于几个关键区域性因素。首先，吉林西部土体可承载力较低，尤其在风沙沉积区或退化草地段，垂直结构布设稳定性受限。虽然格栅结构自重小、柔性好，但对柱体嵌固深度的依赖性较高，局部河段若存在地下淤泥层或高含水率粉质壤土，将大幅降低结构的稳固性。此外，洪水频发年份水流动能增强，透水结构柱体易发生局部弯折或位移，降低整体引导效果。从生态兼容性角度看，该型结构通透性强，对水生植被自然恢复影响小，适合于生态治理与水利防护并重的综合治理项目。其布局方式对自然地貌干扰较小，可在不大规模改变河岸形态的前提下实现防护功能，尤其适合于生态敏感区及湿地型河段。然而，该结构对现场构件规格统一性与柱间连接稳定性要求较高，吉林西部部分地区建设条件受限，不具备标准化构件生产能力，可能影响结构安装质量。综合来看，格栅透水桩排式防护体在吉林西部具备较广泛的适应性，特别适合于流态非稳定但流速不高、岸坡结构松散且生态干预需求较强的地段；在地基承载力不足或施工能力受限的区域，则需强化结构设计与配套条件，避免结构早期失稳。

### 3.3 阶梯式促淤护岸带型防护体的现场施工适应性分析

阶梯式促淤护岸带型防护体具有较强的现场适应性，特别是在吉林西部中小型缓坡河岸分布广泛的自然条件下。该区域地貌多以冲积、风积平原为主，岸坡坡度平缓、基质以粉砂壤和轻质砂层为主，易于形成阶梯型台阶结构的自然基底条件。该构型本身依赖逐级削减流速与高差诱导泥沙沉降的机制，较为适配西部地区流速分布不均、整体流能较弱的天然特征<sup>[4]</sup>。从适应性角度分析，该结构对岸坡线性连续性要求不高，能够灵活布设于不规则岸段，具有较强的现场可变性。吉林西部河段普遍存在河岸边界不清、断面变化频繁的问题，该结构形式可随地形调整层级高度与台阶宽度，无需大量土方改动即可实现防护功能，降低了对现场工程干预强度。在水文适配性方面，西部干旱区多发突发性暴雨型径流，洪峰流速短时内剧增，但整体过程流量较小，该结构通过台阶阻水诱淤，具备一定削峰蓄洪能力。在河道流速低至中等的条件下，水体在各级台阶间形成滞缓区，有助于沙质颗粒自然沉降，增强护岸前缘沉积层的稳定性。这种特性使其在支流、小型干流或低缓冲刷段具有明显优势。但同时，该结构对沉积物供给具有一定依赖。吉林西部部分河段由于上游径流控制严、输沙量不足，在流动介质泥沙浓度较低的条件下，其促淤效果不甚显著。另一个局限因素在于冬季严寒造成的冻结层可能影响台阶结构的边界连续性，若未能有效处理排水系统，冻胀易导致结构台阶错动或表层剥蚀，从而削弱其长期性能。

### 3.4 护脚潜堤复合型防护体的现场施工适应性分析

护脚潜堤复合型防护体在吉林西部具有较为复杂的现场适应性表现，其主要取决于河段水深条件、主流分布、底质稳定性及岸坡响应能力。吉林西部部分干流河段存在主流偏岸、岸坡冲刷严重的现象，潜堤结构能够有效诱导主流外移，降低凹岸底部水动力强度，同时护脚结构可稳定岸坡脚部土体，对整体防护形成“内支外导”的协同作用，因此在河床结构具备一定稳定性的区域具有较好适配性。然而，该构型对水下地质条件具有较高要求。西部典型河段常出现细颗粒底质或松散淤积层，若潜堤布设区域缺乏稳定支撑层，将导致潜堤基础下陷、结构整体失稳。此外，结构需延伸至水下主流线附近，受限于该区域水深、水流速度及水下可视性较低，吉林西部多处水体混浊、泥沙含量高，现场作业难度大。特别在丰水期来临前后，潜堤结构易因河床冲刷加剧而发生局部掏空，因此结构设计需对潜堤前缘冲刷范围有充分预判，否则适应性明显受限。护脚部分在现场适应性方面受岸坡稳定性影响显著。该地区部分河段岸坡受风蚀影响较大、冻融循环频繁，在春融时易发生浅层滑移或者塌方现象，在无外力约束情况下护脚石块将会发生偏移甚至会被掩埋，造成结构的整体失效。尽管护脚潜堤复合型防护体具有良好的引导和支撑作用，但是其对地基和水流要求高，适用于水位变幅小、水下地质状况稳定好、岸坡完整等情况，如果坡脚过软或主流过于接近岸边，则不能直接应用<sup>[5]</sup>。另外，受此地区施工窗口期短、河道封冻期长的影响，潜堤类结构的施工无法实现高效的快速施工，从而不利于其推广使用，因此从实际条件考虑而言，尽管此结构有很强的水力学控制能力，但是由于受到水下基础及岸坡完整性等方面的制约，必须经过仔细的勘察及响应，确认后再考虑是否适用。

## 4 结语

针对吉林省西部干旱区河流凹岸冲刷严重，水动力条件差，地质较弱的特点，对本文研究区域内分布较为广泛的4种典型减速促淤防护体构造形式进行分析并归纳总结了每一种典型减速促淤防护体的结构特性；在此基础上进一步研究分析了不同类型防护体在当地的现场施工可适应性，发现不同的防护体在该地区都存在一定的适宜性差异，因而在实际应用时要根据当地不同河段情况、现场自然条件、土源等资源适应性等选择最合适的类型，并重视结构功能的作用发挥应与现场施工环境条件的配合和相应施工能力和运行环境影响之间的关系。

## 参考文献

- [1] 张柱.汾河新绛段堤岸防护工程直角转弯段设计[J].山西水利,2024(9):25-28.
- [2] 黄鹏.山洪作用下河湾段路基挡墙破坏机理研究[D].重庆交通大学,2023.
- [3] 吴人杰,李昱,姜子岳,等.浅滩湿地在河道凹岸冲刷防护中的应用研究[J].江苏水利,2023(7):8-11.
- [4] 徐莉.中小河流治理工程水土流失特征及防护措施探究[J].工程技术与管理(新加坡),2020.
- [5] 何苗,秦兰芝,尹太举,等.分支河流体系在东海西湖凹陷南部的运用及其对油气潜力的指示[J].中国地质,2021,48(3):12.

# Research on GPR Integration for Safety Pre-assessment in Non-coal Mines

Jingzhe Wei Shuanlong Hou Hanjiang Zhong Congrui Ren

Shanxi Tongxin Anhuan Technology Co., Ltd., Yuncheng, Shanxi, 044000, China

## Abstract

Accurate identification of hidden disaster-inducing factors in non-coal mines represents a core challenge in safety pre-evaluation. Addressing the limitations of conventional evaluation methods under complex geological conditions, this study systematically investigates the integration pathways and application efficacy of Ground Penetrating Radar (GPR) technology in safety pre-evaluation. Through analysis of the alignment between GPR principles and the 《Guidelines for Safety Evaluation of Non-Coal Mines》, we establish a technical implementation framework encompassing geological structure detection, goaf positioning, and support structure assessment. By incorporating drone-borne radar systems and intelligent analysis platforms, a standardized operational procedure is proposed. Practical applications demonstrate that this integrated approach enhances geological hazard identification accuracy by >40%, providing scientific support for improving inherent safety levels in mines and facilitating a transition from reactive safety management to proactive prevention.

## Keywords

Non-coal mines; Safety pre-evaluation; Ground penetrating radar (GPR); Geological hazard identification; Drone-borne radar

# 非煤矿山安全预评价中探地雷达集成应用研究

卫敬哲 侯拴龙 钟寒江 任聪瑞

山西同新安环科技有限公司，中国·山西运城 044000

## 摘要

非煤矿山隐蔽致灾因素的精准识别是安全预评价工作的核心难题。本文针对传统评价方法在复杂地质条件下的局限性，系统探究探地雷达（GPR）技术在安全预评价中的集成路径与应用效能。通过分析技术原理与《非煤矿山安全评价导则》的适配性，构建涵盖地质构造探测、采空区定位及支护结构评估的技术实施框架，结合无人机载雷达与智能化分析平台创新应用，提出标准化作业流程。实践表明，该技术可使地质隐患识别精度提升 40% 以上，为矿山本质安全水平提升提供科学支撑，推动安全管理从被动应对向主动预防转型。

## 关键词

非煤矿山；安全预评价；探地雷达（GPR）；地质隐患识别；无人机雷达

## 1 引言

非煤矿山地质条件复杂且隐蔽致灾因素多元，传统安全预评价方法面临严峻挑战。事故统计显示，顶板坍塌、突水涌泥等灾害中约 70% 与未探明的地质异常相关，凸显出隐患探测环节的关键作用。当前预评价工作存在两大突出痛点：一是人工勘查受地形限制，难以覆盖高陡边坡、深部采场等危险区域，导致评估范围存在盲区；二是钻孔取样成本高昂，且可能扰动地质结构，增加隐患漏检风险。探地雷达（GPR）技术凭借无损探测、厘米级分辨率及实时数据获取的优势，成为突破预评价瓶颈的关键技术。其通过高频电磁波反射信号解析地下结构，可在不干扰地质环境的前提下，

实现对隐蔽隐患的精准定位。本文基于《非煤矿山安全评价导则》规范要求，聚焦探地雷达在预评价工程中的实施路径、技术融合及案例验证，旨在构建“精准探测 - 智能预警 - 科学防控”的一体化预评价体系，为非煤矿山安全管理模式升级提供技术支撑。

## 2 探地雷达技术原理与系统演进

探地雷达技术以麦克斯韦电磁理论为基础，通过发射高频电磁波（10MHz-2.5GHz）并接收地下介电界面反射信号<sup>[3]</sup>，实现地质结构可视化。其核心技术参数包括：

- 传播速度模型： $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$ （其中  $c$  为光速， $\epsilon_r$  为相对介电常数， $\mu_r$  为相对磁导率），用于计算电磁波在不同介质中的传播速度；
- 时深转换： $d = \frac{v \cdot t}{2}$ （ $t$  为双程走时），将时间域信号转换为深度域数据，实现地下结构的空间定位；
- 反射系数： $R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$ （ $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$  为界面两侧介电常数），通过反射信号强度差异判断介质界面性质。

**【作者简介】** 卫敬哲（1993-），男，中国山西运城人，本科，工程师，从事智慧化矿山，安全工程研究。

## 1.2 系统演进与矿山适应性提升

技术革新显著增强了探地雷达在矿山场景的适用性，主要体现在以下三方面：

- 地形适应性突破：车载式雷达配备电动升降杆与伺服调平系统，可在坡度 $> 25^\circ$  的崎岖矿场保持天线耦合稳定，解决传统设备“悬空失效”难题，扩大了探测范围；
- 空 - 地协同探测 无人机载雷达(如 SL-UAVGPR 系统)

集成高精度 POS 定位与多频阵列天线 (100MHz-800MHz)，实现采空区、边坡隐患的三维立体扫描，探测效率较人工提升 5 倍，尤其适用于大面积区域快速排查；

- 智能信号处理：基于 Matlab 开发的衰减补偿增益算法 (ACG) 有效抑制井下机电干扰，使信噪比提升 60% 以上，保障了复杂电磁环境下的数据质量。

表 1 探地雷达系统在矿山应用中的技术参数对比

系统类型	适用场景	探测深度	分辨率	地形适应性
手持式雷达	巷道支护体检测	0-2m	<5cm	低
车载式雷达	露天采场、道路	0-15m	10-30cm	中
无人机雷达	高陡边坡、采空区	0-30m	20-50cm	高
固定式传感器	关键区域长期监测	0-10m	<10cm	固定点位

## 3 非煤矿山安全预评价框架与探地雷达的适配性

### 3.1 评价内容适配

根据《非煤矿山安全评价导则》，安全预评价需在建设项目可行性研究阶段完成潜在危险源的定性定量分析，探地雷达技术可深度融入以下评价内容：

- 地质构造核查：雷达波对断层破碎带（介电常数 4-8）与含水裂隙（介电常数 $> 25$ ）的反射特征差异显著，可通过信号解析精准定位导水通道，为突水风险评估提供数据支撑<sup>[1]</sup>；
- 隐蔽致灾因素普查：响应三明市应急管理局“应查尽查”政策要求，探地雷达可识别废弃巷道、不明采空区等历史遗留隐患，弥补传统方法对历史采矿痕迹探测不足的缺陷；
- 支护结构评估：通过混凝土密实度雷达图像分析（以振幅衰减梯度 $\geq 30\text{dB/m}$  判定缺陷），可预测顶板冒落风险，为支护系统安全性评价提供量化依据<sup>[2]</sup>。

### 3.2 评价程序优化

在“危险有害因素识别”环节，探地雷达通过三阶段数据支撑优化评价程序，提高效率与精度：1. 初步扫描：采用 100MHz 天线快速覆盖评价区域，圈定形变速率 $> 2\text{mm/d}$  的边坡等异常区，缩小重点探测范围；2. 精细诊断：在异常区切换 500MHz 天线，获取厘米级分辨率数据，精准定位隐患边界与规模；3. 动态验证：结合钻芯取样（重点验证强度 $< 15\text{MPa}$  区域）校准雷达解译模型，确保数据解读的准确性。

系统，当断层带电磁波反射系数增幅 $> 15\%$  时触发预警，及时采取加固措施，有效防止突水事故发生。某金矿应用该技术后，断层带突水预警响应时间缩短至 15 分钟，较传统方法提升 60%<sup>[4]</sup>。

### 4.2 工程质量量化评估

混凝土支护检测：某金矿应用 400MHz 天线对巷道衬砌扫描，发现不密实区（振幅值仅为正常区 40%）占比达 12%，通过针对性加固，顶板失稳事故发生率下降 90%，验证了技术对支护质量评价的有效性；

尾矿库渗流诊断：通过雷达剖面同相轴中断与频率衰减特征，定位坝体管涌通道 3 处，指导注浆治理方案优化。某尾矿库应用后，渗流隐患排查效率提升 3 倍，治理成本降低 25%<sup>[5]</sup>。

### 4.3 智能预警平台集成

将雷达数据接入矿山安全风险监测预警系统，实现多维度安全管理升级：

多源数据融合：融合激光扫描点云与雷达剖面数据，构建地质 BIM 模型，直观呈现地下结构与隐患分布；

风险动态评估：基于形变速率与降雨量关联分析建立预警模型，如“形变加速 + 雨量 $> 50\text{mm/d}$ ”触发红色预警，实现风险等级动态更新；

应急联动响应：预警信号直通井下广播系统，联动人员定位系统引导撤离，使应急响应时间缩短 70%，提升灾害应对效率<sup>[3]</sup>。

## 5 实施策略与政策建议

### 5.1 技术标准化推进

数据采集规范：制定《非煤矿山探地雷达预评价技术指南》，明确不同埋深目标体的天线频率选择标准（如 30m 以浅采用 100MHz），统一数据采集流程与质量控制指标；

解译标识体系：建立矿山地质雷达图像典型图谱库，统一“空洞”“裂隙”等隐患的判识标准，减少人工解译的主观性误差，提高评价结果的一致性。

## 4 探地雷达在预评价中的关键技术应用路径

### 4.1 地质隐患超前识别

采空区三维成像：某铁矿采用无人机雷达网格化扫描（ $50\text{m} \times 50\text{m}$  测网），成功发现 3 处隐蔽采空区，最大空洞体积达  $850\text{m}^3$ 。通过反射波双曲特征识别与振幅能量分析，建立采空区稳定性评估模型，预判地表塌陷风险等级，为充填方案设计提供精准参数；

断层活化监测：在巷道掘进面前方布置雷达实时跟踪

表 2 探地雷达在非煤矿山安全预评价中的应用场景及参数配置

应用目标	天线频率	测网密度	识别标志	预评价对策措施
采空区边界定位	50-100MHz	10m × 10m	强振幅双曲线	充填治理或留设保安矿柱
断层破碎带探测	100-250MHz	5m × 5m	同相轴紊乱、多次反射	注浆加固、调整巷道轴线
混凝土支护缺陷	400-800MHz	0.5m 连续剖面	振幅衰减 >30dB/m	局部补强或拆除重建
边坡潜在滑移面	100MHz+ 无人机	2m 航带间距	倾角突变界面	锚索加固、疏排水系统
地下水管渗漏	250MHz	沿管线 1m 剖面	高频散射、介电常数异常	管道更换、防渗处理

## 5.2 监管机制创新

借鉴山东省“审计式安全诊断”经验，构建多层次监管体系：

**三级联动模式**：由省级专家团队牵头，市级监管部门协调，企业自查落实，确保雷达扫描覆盖率达 100%，形成“专业指导 - 监督检查 - 主体负责”的闭环管理；

**隐患溯源管理**：将雷达检测数据与采矿许可证年审挂钩，未完成隐患普查的矿山不得复产，强化企业应用技术的主动性。

## 5.3 企业级实施路径

**阶段化应用**：i. 基建期：全面扫描井田范围，建立地质基准模型，为开采设计提供基础数据；ii. 开采期：重点区域季度复测，动态更新风险图谱，及时发现新出现的地质异常；iii. 闭坑期：开展采空区稳定性长效监测，为闭坑后生态恢复与安全管控提供依据；

**成本管控**：推广无人机雷达外包服务，降低中小矿山应用门槛，单次探测成本可控制在传统钻探的 40% 以内，兼顾经济性与安全性。

## 6 案例分析与应用成效

### 6.1 某大型铜矿安全预评价项目

①背景：新建斜井穿越已知断层带，突水风险极高，传统钻探因成本限制难以全面探测断层延伸范围；②技术方案：沿设计轴线布置 250MHz 车载雷达（测线间距 2m），通过高密度数据采集构建断层三维模型；③成果：发现 F12 断层延伸超设计资料 28m，且伴生裂隙群，据此调整井筒位置并实施超前注浆加固；④成效：基建期成功避免突水事故，直接减少经济损失约 1200 万元，预评价报告一次性通过审核，较同类项目缩短审批时间 30%。

### 6.2 露天铁矿边坡智能监测

①系统架构：整合 GNSS 位移站、无人机雷达与地面传感器网络，构建多维度监测体系；②预警模型：设置两级预警阈值——雷达形变速率  $> 5\text{mm/d}$  触发黄色预警，启动加密监测；形变  $> 10\text{mm/d}$  且伴随降雨预警时触发红色预警，自动停产并组织撤离；③成效：滑坡预警准确率达 92%，产能损失下降 45%，验证了技术在动态风险管理中的可靠性。

## 7 结论研究

探地雷达技术深度融入非煤矿山安全预评价，实现三大突破：1. 隐患识别精准化：突破人工勘查局限，隐蔽致灾因素检出率提升 40% 以上，消除评估盲区；2. 风险防控前置化：在基建阶段即可识别并消除重大事故隐患，避免后期治理成

本超支，某铜矿案例显示可减少千万级损失；3. 决策支持科学化：基于雷达数据的定量评价，优化开采布局与安全投入，某铁矿安全设施投资偏差从 25% 以上降至 10% 以内。

表 3 某铁矿应用探地雷达技术进行安全预评价的主要成效

评价指标	应用前	应用后	提升幅度
地质隐患识别率	62%	95%	+33%
重大事故发生率	1.2 次 / 年	0.3 次 / 年	-75%
预评价报告通过率	78%	96%	+18%
安全设施投资精准度	预估偏差 >25%	偏差 <10%	+60%
应急响应时间	45 分钟	12 分钟	-73%

## 8 结语

探地雷达技术在非煤矿山安全预评价中的集成与应用，不仅是技术层面的创新突破，更标志着矿山安全管理理念的深刻变革。从传统依赖人工经验的“粗放式评价”到基于电磁探测的“精准化防控”，技术赋能让隐蔽致灾因素从“不可见”变为“可测、可判、可防”。

实践证明，当探地雷达与智能分析平台、多源监测数据深度融合时，能够构建覆盖矿山全生命周期的安全预评价闭环——基建期奠定地质认知基础，开采期动态追踪风险演化，闭坑期保障生态修复安全。这种“探测 - 预警 - 防控”的一体化模式，既响应了《非煤矿山安全评价导则》对科学评价的规范要求，也为中小矿山降低安全投入成本、提升本质安全水平提供了可行路径。

随着技术标准化体系的完善与监管机制的创新，探地雷达技术必将在非煤矿山安全领域发挥更大效能，推动行业从“被动应急”向“主动预防”的根本性转变，为构建“本质安全型矿山”提供坚实的技术支撑与实践范式。

## 参考文献

- [1] 戈海宾.打造安全绿色智慧矿山 树立煤炭行业标杆 [J].中国煤炭工业, 2025 (2) : 29-31.
- [2] 熊赞民, 习泳, 孙家驹, 王恒涛.非矿山露天开采边坡安全检测设计研究 [J].中国矿山工程, 2023, 52 (05) : 17-21.
- [3] 王锦榕.探地雷达服务福建地灾评估 [N].地质勘查导报, 2008-01-15 (1).
- [4] 李垚萱; 李坤; 卢尧; 楚一帆; 王雅莉; 王莎; 何斌斌; 闫芃辰.基于三元风险要素数据的非煤矿山安全预警系统.中国, CN202510287870.X [P]. 2025-06-27.
- [5] 勾红英, 罗智文, 袁东.非煤矿山安全评价报告存在的问题及建议 [J].内江科技, 2010, 31 (02) : 30.

# Design of bidirectional signal chain conversion system for 4K news studio

Xiao Chen

Xinjiang Radio and Television Station, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

With the growing adoption of 4K ultra-high-definition broadcasting systems, the integration and adaptation challenges of traditional HD signals in news production scenarios have become increasingly prominent. This study investigates a unified up-conversion solution for multi-source non-4K signal integration at Xinjiang Broadcasting Corporation's News Studio. It analyzes the signal scheduling architecture and synchronization control logic within the main chain, designs down-conversion pathways and parameter configurations for 4K signals to HD broadcasting systems, and proposes a bidirectional signal conversion framework that meets both program diversity requirements and broadcast compatibility needs. The research findings demonstrate engineering applicability in enhancing format adaptability and signal processing efficiency within existing studio systems.

## Keywords

4K studio; bidirectional conversion; HD signal integration; signal processing

# 4K 新闻演播室信号链双向变换系统设计

陈孝

新疆广播电视台，中国·新疆乌鲁木齐 830000

## 摘要

在4K超高清制播系统逐步普及的背景下，传统高清信号在新闻演播场景中的接入与播出适配问题日益突出。文章研究了新疆广播电视台新闻演播室在多源非4K信号接入情况下的统一上变换方案，分析了主链内部信号调度结构与同步控制逻辑，设计了4K信号向高清播出系统的下变换路径与参数配置，提出了满足节目多样性与播出兼容性需求的双向信号变换架构，研究结果对提升现有演播室系统的格式适应能力和信号处理效率具有工程应用价值。

## 关键词

4K演播室；双向变换；高清信号接入；信号处理

## 1 引言

在广播电视向4K超高清制播系统过渡的过程中，新闻演播室面临多格式信号融合处理的技术挑战，特别是在4K制播链路中引入来自播出部的高清信号（例如卫星车传输回来的记者实时信号）与HDMI电脑信号时，需对信号格式、分辨率与同步标准进行统一适配。新疆广播电视台当前播出系统仍采用高清标准，要求演播室在输出端将4K主信号下变换为高清信号输出，确保信号格式与播出链路兼容。双向变换系统的构建需涵盖高清信号的接收解码、上变换配置、主链结构部署、信号时钟同步与最终输出下变换机制，保证多信号源融合下的制播稳定性与内容完整性。文章围绕输入适配、链路组织与输出设计展开技术研究，提出可落地的系统设计路径。

**【作者简介】**陈孝（1986—），男，本科，工程师，从事4K新闻直播演播室和索贝高清新闻制作网的技术支持研究。

## 2 输入信号适配与统一上变换设计

### 2.1 记者信号接收链路设计

播出部将卫星接收的外来直播信号以高清格式输出给演播室，通常采用1080i/50规格，经由光纤接口接入信号切换平台。系统前端需配置具备信号识别与自动解码能力的视频处理设备，支持对不同帧结构、时序标准与嵌入音频格式的解析处理。帧率适配模块对隔行或逐行格式进行重建与统一帧率输出，避免在切换台矩阵进行信号调度时出现画面丢帧或延迟积累，确保演播室外来高清信号实时可靠接入至4K处理主链，保障直播过程中的信号稳定性。

### 2.2 HDMI 电脑信号接入方法

演播室内常规画面调用场景中，主持人操作演示、图文播放等均以电脑HDMI信号形式输出，接口板中HDMI转换器，具备多格式HDMI自动识别功能并且上变换后输出为4k视频信号。信号采集过程中通过设备强制输出固定格式，稳定源端输出参数，避免分辨率频繁变动导致图像异

常。HDMI 视频信号经设备编码器模块转换为 4K 格式，进入切换台或分布式处理节点。编码过程采用 H.264 或 HEVC 压缩标准，确保插播画面在主链中保持图像清晰与延迟可控。

### 2.3 高清信号上变换流程配置

对于 1080p、1080i 等非 4K 输入源，信号进入主链前必须进行分辨率和色彩空间的转换处理，常用方式为配置 UHD 视频上变换处理器或集成式信号处理平台<sup>[1]</sup>。处理器具备多格式解码、分辨率拉伸、帧重建与色域扩展功能，以满足 4K UHD 信号格式要求。帧率处理环节需进行时间基准重采样，将 50Hz 或 25Hz 输入转换为系统主控要求的 50Hz 帧率，保证时基统一。图像上变换过程采用硬件抗锯齿滤波、边缘锐化与动态色彩重构算法，提升画面细节层次感。封装输出采用 12G-SDI，按系统链路设计完成数据格式封装，形成演播室信号标准化接入的稳定方案。

在高清信号接入 4K 主链前的处理过程中，输入信号为 1080i 或 1080p 格式的高清信号在进入 4K 主链前，经由

SDI 或 HDMI 接口采集后送入上变换处理器，处理器内部将信号分别进行分辨率提升、帧率转换与色彩映射三项核心变换操作后，在保持帧结构稳定的前提下完成画面规格与色域标准的统一标准化的上变换处理流程。

## 3 4K 演播系统内部信号处理结构

### 3.1 主链结构组网方式

演播系统内部信号链采用 SDI 为主传输架构，所有信号在接入上变换单元后统一封装为 4K 12G-SDI 信号，并接入切换台和矩阵主控平台<sup>[2]</sup>。矩阵系统具备多路并行处理能力，按节目生产逻辑配置路由路径，建立从信号源到切换台、包装系统、监看系统再至输出处理器的闭环链路结构。视频数据传输主干仍依赖 SDI 物理链路以保证传输时延与时基准确性。系统各节点需配置统一格式转换器、时间码对齐模块及冗余分支链路，确保信号在主链中按设定逻辑精准流转。主链关键节点设备连接形式、信号类型、输入输出端口数量及接口标准见下表 1。

表 1：主链信号节点设备连接参数表

设备名称	接口类型	输入路数	输出路数	信号制式
UHD 切换台	12G-SDI	24	12	2160p50
图文包装工作站	12G-SDI	4	2	2160p50
视频服务器	12G-SDI	1	1	2160p50
信号矩阵主控	12G-SDI 3G-SDI	64	64	2160p50
多画面监看系统	12G-SDI	24	5	2160p50
输出编码模块	12G-SDI	2	1	1080p50

系统中采用 12G-SDI 为主要传输接口，图文包装节点为 12G 四线配置，满足 2160p50 信号的多路处理需求；信号矩阵主控为整个系统核心枢纽，具备高密度输入输出能力；监看系统为混编架构，处理分辨率控制为 1080p 和 2160p，避免主链资源消耗过大。

### 3.2 素材编排流程控制机制

节目制作过程中，多源信号在进入 4K 主链后，导播需按照节目脚本和时间线进行统一调度，包括记者连线、现场画面、主持人画面、远程电脑画面及字幕图文包装等。依据预设逻辑调配输入顺序，支持画面合成、音视频对应、素材延时控制等操作。各素材经包装节点完成特效叠加后进入切换系统，在不同节目环节中执行交替切换、窗口分割与虚拟图层合成。调度系统支持动态素材指令预加载，完成画面调用、视角切换与通道并发输出，确保节目输出结构统一。

### 3.3 时钟统一与同步执行策略

信号链中所有源设备与处理单元需严格保持时间对齐状态，防止帧错位、音画脱节及编码卡顿等问题。系统采用播出部给出的主控黑场同步信号接入演播室机房同步信号发生器作为统一时基源，输出三电平同步信号或复合同步信号引导各节点时钟锁定。SDI 链路中所有 4K 信号通道需配

置帧同步器或延迟补偿模块。音频部分采用 AES 嵌入时间码统一音频延迟，保持与视频帧头一致，避免音频先行或滞后。监看与录制系统与主控切换台设定参考时间链路，确保画面回显、节目预监与记录输出的帧级一致性，满足 4K UHD 节目生产链路对时间准确性的刚性要求。

## 4 演播室输出信号的下变换方案设计

### 4.1 4K 信号下变换执行路径

节目输出信号在经过全部 4K 处理流程后，需送入专用的高清视频下变换模块，以满足播出部当前 1080i/50 或 1080p/25 的接收制式要求<sup>[3]</sup>。主输出信号从切换台或视频矩阵应急 2\*1 输出口引出，通过进入具备多格式降采样能力的 UHD → HD 转换单元，进行分辨率缩减、帧格式转换与信号制式再封装处理。模块内部采用多级缩放滤波与色度重新采样结构，逐帧完成从 2160p 至 1080p 的清晰度降解，同时保证帧率与扫描结构符合高清标准。信号处理路径设置为主备双通道结构，转换后的主备高清视频信号进入视频延时器后，主备信号同时通道输出给播出部，用于直播信号主备应急机制。

为保证信号链兼容性，下换单元支持 SDI 双格式输

出,可在 1080i 和 1080p 之间切换,满足播出链路差异化要求。系统下变换路径中设置多路测试点,配合波形监视仪与色度示波器完成亮度幅值、边缘平滑度与颜色映射误差测定,以便对输出信号参数进行实时微调。下表 2 为各环节输出信号

的参数配置汇总。

下变换模块可提供两种输出路径,分别适配 1080i 隔行制式与 1080p 逐行制式,接口标准统一为 HD-SDI 便于与播出链对接,帧率保持在主系统标准以确保时序一致性。

表 2: 4K 信号下变换输出参数配置表

环节名称	分辨率	帧率	扫描方式	接口标准
演播系统输出	3840 × 2160	50Hz	逐行	12G-SDI
下变换模块输入	3840 × 2160	50Hz	逐行	12G-SDI
下变换模块输出 A	1920 × 1080	50Hz	隔行	HD-SDI
下变换模块输出 B	1920 × 1080	50Hz	隔行	HD-SDI

## 4.2 视频画面质量保持机制

高清下变换过程中需对图像滤波器进行监看,防止在降分辨率阶段出现边缘锯齿、纹理模糊或细节丢失等问题。下变换设备中需要控制好在图像边界过渡区域的亮度与色彩重建过程的参数。图像主处理通道输出前增加帧级图像质量监测模块,针对边缘对比度、动态范围与色彩过渡参数进行帧间分析,确保清晰度、还原度保持在可控范围。

色彩空间压缩映射过程中,需保持主色调与次色调在标准色域内的分布均衡,避免出现肤色偏差与亮色泛白等问题,保证视觉观感接近原始信号风格,满足在不同节目内容下的统一视觉输出需求。

## 4.3 播出信号输出标准配置

输出信号在完成下变换处理后,需严格匹配播出部信号标准接口参数,主输出通道统一采用 HD-SDI 接口标准。音视频封装格式采用嵌入式结构,音频通道嵌入在视频数据流中,配合视频帧头同步输出。音频采用 PCM 编码,并配置音量均衡模块以适应播出链中音频电平需求。视频编码标准具体依据播出系统的接收解码能力进行设定。

## 5 结论

双向变换系统在 4K 新闻演播室中实现了非 4K 信号的标准化接入与主链处理,通过演播室外来高清信号链路、HDMI 画面采集模块与上变换处理结构构建了完整输入通道,系统内部采用传统 SDI 信号路径,统一帧率与色域规范,完成了节目素材在 4K 链内的时序协同处理,输出部分部署下变换模块,满足播出部 1080i/1080p 接口要求。整体设计支撑了 4K 链路稳定运行与高清播出兼容,具备面向更高标准制播系统的拓展能力。

## 参考文献

- [1] 李强.内蒙古广播电视台4K超高清沉浸式智能超融合新闻演播室舞美制景及配套区域改造建设[J].数字传媒研究,2024,41(12):13-17.
- [2] 林飞鹏.4K超高清新闻演播室创新设计与实践[J].电视技术,2024,48(09):60-64.
- [3] 王琨,李上,王虎,等.4K超高清全媒体新闻演播室项目介绍[J].电视技术,2023,47(05):17-21.

# The hardware circuit implementation of a Beidou regional short message communication module

Xiangzhi Liu

Nanjing Panda Handa Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

## Abstract

This paper introduces a hardware design scheme for a BeiDou regional short message communication module applied in the BeiDou navigation and communication system. The scheme is based on the up-conversion of the L-band transmission channel's RF signal to a low-power L-band signal, which is then amplified and transmitted to the antenna. The system signal can meet the satellite reception power threshold requirements. The design includes an S2c receiving LNA circuit, a low-noise amplifier circuit, up and down conversion channel chip circuits, a digital processing baseband chip circuit, a 10MHz clock reference circuit, a reset circuit, and a 5W/10W power amplifier circuit. The system's resistance to WIFI and 5G communication interference is analyzed. The system exhibits favorable energy consumption requirements.

## Keywords

BeiDou Navigation; Launch Video Communication; Short Message Communication; Hardware Circuit Design

# 一种北斗区域性短报文通信模块硬件电路实现

刘相志

南京熊猫汉达科技有限公司，中国·江苏南京 210000

## 摘要

对一种应用于北斗导航通信系统里的北斗区域性短报文通信模块硬件设计方案进行了详细的介绍，方案基于L频段发射通道射频上变频到L频段低功率信号进行放大，然后传送给天线，系统信号能够满足卫星接收功率门限要求；设计了S2c接收LNA电路、低噪放电路、上下变频通道芯片电路、数字处理基带芯片电路、10MHz时钟参考电路、复位电路、5W/10W功放电路等；对系统电路抗WIFI及抗5G通信进行了分析；系统具备较好的能耗需求。

## 关键词

北斗导航；发射视频通信；短报文通信；硬件电路设计

## 1 引言

随着我国北斗三代全球定位通信系统组网完成，北斗定位通信需求影响对人民的生活会越来越大，按目前国情趋势，北斗定位通信系统也会逐渐代替美国的全球定位系统 GPS 在中国的市场。而北斗定位通信系统与美国的全球定位系统 GPS 的最大区别就是不仅可以定位，而且还能互相通信。而本文主要基于 L 频段发射通道射频部分而探讨的一种应用需求设计。北斗三号 RDSS 模块包含一种区域性功能通信短报文模块，区域性功能形态模块集成了 S2C 接收及 5W 功率的 L 发射<sup>[1]</sup>。

## 2 硬件电路设计

北斗三号 RDSS 模块是实现北斗三号 RDSS 通信定位

功能的核心模块，区域性功能形态采用 S2C 接收和 5W 功放 L 发射加基带方案。系统电路集成 S2c 接收 LNA 电路、低噪放电路、上下变频通道芯片电路、数字处理基带芯片电路等。

### 2.1 S2c 接收 LNA 电路设计

整体方案 LNA 的噪声系数指标为： $NF \leq 2\text{dB}$ 。LNA 是影响系统接收整体性能的关键部分。采用的架构如图 1 所示：

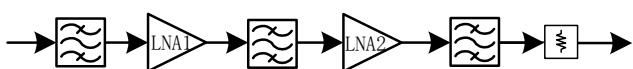


图 1 LNA 架构原理框图

第一级低噪放芯片采用一款高性能 LNA 芯片，其工作频段为  $2\text{GHz} \sim 6\text{GHz}$ ，噪声系数典型值为  $0.56\text{dB}$ ，增益为  $18\text{dB}$ ，输入  $P1\text{dB}$  为  $0\text{dBm}$ ，体积为  $2.0\text{mm} \times 2.0\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ ，非常适合小型化设备使用。第二级采用声表滤波器带内插损最大为  $2.5\text{dB}$ 。在特殊要求应用场情中可以使用高抑制滤波

【作者简介】刘相志（1991-），男，硕士，工程师，从事嵌入式系统、射频信号处理研究。

器。低噪放频段为 5MHz ~ 4GHz，在 2.5GHz 的增益达到 25dB 噪声系数为 2dB。第三级滤波器采用普通声表滤波器，声表滤波器的插损约在 2.5dB<sup>[2]</sup>。

## 2.2 5W PA 方案设计

区域性功能模块发射前端采用 5W PA 功放发射方案，末级采用 5W 功放芯片，整个 PA 前端结构框图如图 2 所示。

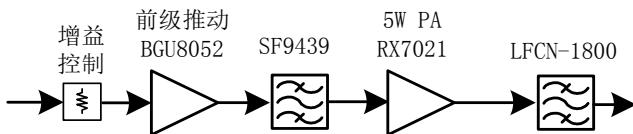


图 2 5W PA 方案框图

射频芯片的发通道输出小功率信号，经过增益衰减控制电路，输出至前级推动后，送给声表滤波器进行滤波，末级功放进行放大，经低通滤波器最后输出给外部天线发射。

前级推动电路输入 P1dB 为 0dBm，增益为 18dB，输出 P1dB 为 18dBm，由于末级功放在 5W 输出时要求输入信号功率约为 10dBm，上变频发射输出功率为 0dBm，经衰减网络 4dB，声表插损 4dB，可以满足发射增益要求<sup>[3]</sup>。

## 2.3 通道上下变频电路设计

通道上下变频集成了双通道 I/Q 下变频，一个发射上变频通道，支持标准 SPI 协议操作等，内部集成接收中频滤波器，支持模拟差分中频输出模式，可以直接与基带的 ADC 输入接口对接。接收通道集成 AGC 控制电路，最大增益达到 60dB，配合基带 12Bit 的 ADC，前端 LNA 只需要约 25dB 增益就可以满足。发射通道增益控制精度到达 0.5dB，范围达到 24dB，满足北斗对功率控制要求。具备输出可编程时钟 10MHz ~ 150MHz，满足 ADC 采样时钟需求。

## 2.4 基带电路设计

基带方案采用北斗专用基带芯片，芯片基于 28nm 工艺的 RNSS/RDSS 高性能基带芯片，支持北斗系统 RNSS、RDSS 系统信号接收处理。芯片内置 12bit 单通道高速 ADC，采样率 84MHz，支持宽中频输入，最大支持 4 路中频信号同时抗单音及窄带干扰，可同时跟踪北斗系统卫星数不少于 16 颗。RDSS 信号部分：接收通道数不少于 14 个，具备兼收能力；支持 B3X、B3XE、B1X 频点授权信号直捕和辅助捕获。

# 3 系统电路抗 WIFI 及抗 5G 通信分析

## 3.1 抗 WIFI 分析

WIFI 有部分通信频段与 S2c 接收频段非常接近，存在影响 S2c 频点接收性能。目前我们使用 WIFI 频率范围一般为 2.4GHz~2.472GHz，有 13 个信道（第 14 信道不用），每个信道带宽为 20MHz，从而得知其最高频率为 2472MHz+10MHz=2482MHz。而北斗 RDSS 的 S2c 接收频段为：2491.75MHz±8.16MHz。它们之间的频

率非常接近，计算出其低频段的频点为：2491.75MHz-8.16MHz=2483.59MHz，而普通的滤波器带宽无法起到抑制作用。FBF 滤波器的性能如图 3 所示。

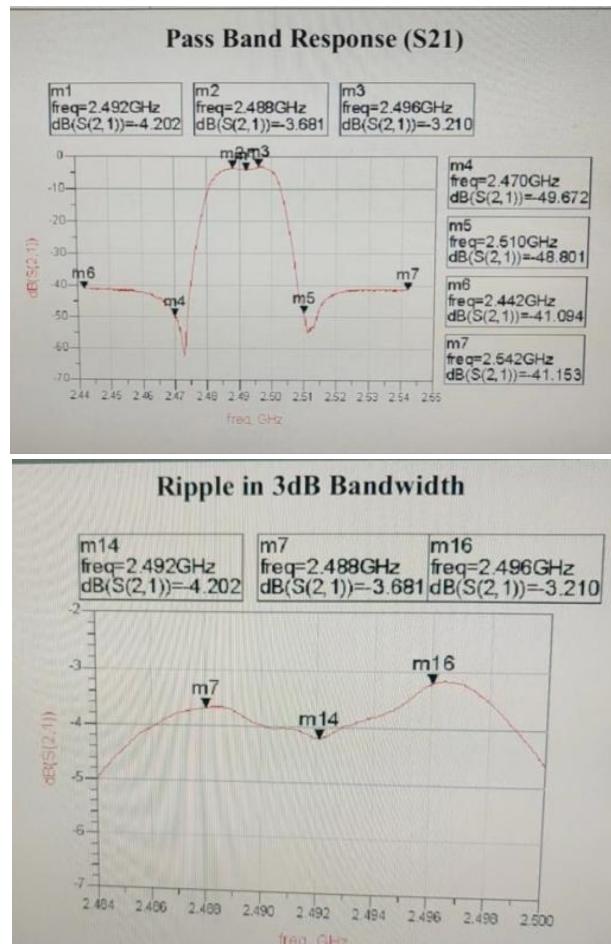


图 3 FBF 滤波器性能测试

从性能曲线图中可以看出在频率 2480MHz 处有约 10dB 的抑制，在 2470MHz 有 49dB 的抑制，所以对低信道的 WIFI 信号有良好的抑制作用。目前国内大部分 WIFI 很少用到高信道（第 13 信道），而第 12 信道频率为 2467MHz±10MHz，其高频率为 2467MHz+10MHz = 2477MHz。从 FBF 滤波器性能曲线图中可以看出此时抑制超过了 30dB，所以对一般的 WIFI 具备一定的抗干扰特性。

本设计中采用接收输入 1dB 压缩点为 -30dBm，而 LNA 约为 25dB，则可以计算出可以抗 WIFI 的最大功率为：-30-25+30=-25(dBm)。因此，如果在有 WIFI 干扰的环境中工作，只要 WIFI 信号到达模块射频输入口时的信号功率小于 -25dBm 时，模块依然可以正常工作。

## 3.2 抗 5G 通信分析

目前，5G 通信的频率已经与 S2c 接收频率重叠，在目前的射频技术下无法把 5G 信号滤除，而且模块使用场景一般是在没有移动通信网络的情况下使用，故如果有 5G 移动通信网络的环境时只对模块的抗烧毁性能做评估。

根据通道射频芯片输入最大功率要求，输入信号不能超过 +10dBm，和 LNA 增益 25dB 来评估，可以计算出最大输入信号为：-15dBm。如果从 LNA 第二级开始反推计算，于第二级允许最大功率为 -10dBm，第一级 LNA 增益为 17dB，两级滤波器的插损一共 5dB，计算出最大输入信号为 -2dBm。第一级允许输入的最大信号功率为 +18dBm，第一级滤波器插损 1dB，可以计算出最大输入信号功率为：+19dBm。综合评估采用最极限值为 -15dBm，整个模块在射频输入口的信号不能超过 -15dBm。

以本设计为例，基站发射功率为  $43\text{dBm}+17\text{dBm}=60\text{dBm}$ ，当模块终端与移动基站 100m 时，模块终端接收到的信号大约为 -15dBm，接近模块输入信号最大功率值；此范围以外模块终端都是安全的。如果基站发射功率为  $43\text{dBm}+7\text{dBm}=50\text{dBm}$  时，则模块终端只要在离基站天线 30m 以上距离就可以安全<sup>[4]</sup>。5W 功放测试及低噪声测试结果如图 4 所示。

## 4 结论

北斗导航系统是我国自主研发的通信系统。目前技术应用相对成熟，应用领域比较广泛。本文主要基于其 L 频段发射通道射频部分而探讨的一种应用需求进行设计。经过

性能测试，系统射频功放电路设计方案能够满足卫星接收功率门限要求，经过性能测试表明，系统具有较好的节能效果。

Frequency	Noise Figure	Gain
2.484750000 GHz	2.1326 dB	34.095 dB
2.485750000 GHz	2.1468 dB	34.326 dB
2.486750000 GHz	2.1704 dB	34.523 dB
2.487750000 GHz	2.1893 dB	34.870 dB
2.488750000 GHz	2.1889 dB	35.080 dB
2.489750000 GHz	2.1448 dB	35.356 dB
2.490750000 GHz	2.1207 dB	35.546 dB
2.491750000 GHz	2.0946 dB	35.582 dB
2.492750000 GHz	2.0706 dB	35.550 dB
2.493750000 GHz		35.483 dB

图 4 部分功能测试

## 参考文献

- [1] 朱启.北斗导航系统接收机中自动增益控制的设计与实现[D].西安电子科技大学, 2011.
- [2] 宋月超等.移动终端定位导航系统性能对比分析[J].计量与测试技术, 2016, 43 ( 10 ) : 60-62.
- [3] 肖磊.并行高速通信解调系统中同步技术的研究与实现[D].电子科技大学, 2017.
- [4] 汪后虎.基于FPGA的通信信号模拟器设计与实现[D].硕士学位论文, 西安电子科技大学, 2018.

# The Operational Practice of Using Economic Burden in Blast Furnaces of Hanzhong Steel

Chenchen Sun<sup>1</sup> Lijuan Qiang<sup>2</sup> Hongzhi Hui<sup>1</sup> Fan Yang<sup>1</sup> XinLi Huang<sup>1</sup>

1. Shaanxi Iron and Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

2. Hanzhong Yulong Technology New Materials Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

## Abstract

As the steel market continues to decline, HanZhongsteel is facing a huge existential challenge. Based on the advantages of the surrounding mineral resources, adjust the feedstock scheme to “economic furnaces,” with low-cost smelting technology line as the core. The cost of iron production is reduced by appropriately relaxing the control standards for harmful elements, increasing the proportion of low-priced defective minerals in the furnace, reducing the taste of the furnace and adjusting the furnace structure. At present, the Zn load is 0.50kg/t, the alkali load is 4.5kg/t, the furnace taste is about 54.5%, and the sintering minerals in furnace rate is 80%. At present, the blast furnace coke load is 4.98, the blast furnace coke ratio is 355kg/t, the fuel ratio is 528kg/t, the pig iron cost is reduced 80 yuan/t.

## Keywords

low-cost smelting; harmful elements; economic burden; low grade; pig iron cost;

## 汉钢公司高炉经济炉料路线冶炼实践

孙晨晨<sup>1</sup> 强丽娟<sup>2</sup> 惠宏智<sup>1</sup> 杨帆<sup>1</sup> 黄欣力<sup>1</sup>

1. 陕钢集团汉中钢铁有限责任公司，中国·陕西汉中 723000

2. 汉中禹龙科技新材料有限责任公司，中国·陕西汉中 723000

## 摘要

由于钢铁市场持续下行，汉钢公司面临巨大的生存挑战，根据周边矿产资源优势情况，将用料方案调整为“经济炉料”，以低成本原燃料冶炼的技术路线为核心，通过适当放宽有害元素控制标准、增加缺陷矿入炉比例、降低入炉品味、调整炉料结构等措施降低生铁成本，目前锌负荷0.50kg/t、碱负荷4.5kg/t、入炉品味54.5%左右，烧结矿入炉率80%，铁前系统通过加强高炉操作管理，监控关键参数等措施，1#高炉焦炭负荷4.98且顺行，高炉焦比355kg/t、燃料比528kg/t，生铁成本降低80元/t，最终实现了成本和指标的较大进步。

## 关键词

低成本冶炼；有害元素；经济炉料；低品位；生铁成本

## 1 引言

当前钢铁行业形势极为严峻，市场需求萎缩，价格持续低迷，汉钢公司由于内部没有焦化厂，所需燃料方面全部需要外购，损耗和运输成本高，导致生铁成本高于行业平均水平<sup>[1]</sup>。同时汉钢公司也有自身优势，周边存在着丰富的含铁料资源，除了主流精矿粉、褐铁矿和菱铁矿外，还包含硫酸渣、钒钛磁铁矿、高硅高铝矿等运输成本低、性价比高的缺陷物料。为充分利用国内矿资源优势，汉钢公司通过配加缺陷矿，放宽有害元素控制<sup>[2]</sup>和优化高炉操作等措施，在确保高炉顺行的前提下有效降低生铁成本。

## 2 经济炉料的控制思路

### 2.1 解放配矿思路，适当放开有害元素控制范围

首先充分利用地域优势采购周边国内矿，选择性价比较高的中品进口矿、周边国内主流矿，合理配加硫酸渣、高铝矿、高硅矿、除尘灰等低价缺陷矿，按上限控制入炉有害元素：锌负荷≤0.50kg/t、碱负荷≤5.0kg/t、硫负荷≤5.0kg/t，综合入炉品位由56.5%降至54.5%以下，炉渣Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤16.0%。根据控制标准，烧结缺陷矿配加比例提升至15%，关键成分按SiO<sub>2</sub>≤6.50%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤2.60%控制要求进行配矿。

### 2.2 充分利用干湿焦价差和煤焦价差的降本思路

(1) 目前干湿焦价差55元/吨，配加湿焦具有效益，要求采购的湿焦热态指标必须符合CRI≤28.0、CSR≥62.0管控标准，灰分≤13.0%和硫含量≤0.80%控制较干焦标准适

【作者简介】孙晨晨（1992-），男，中国河南洛阳人，硕士，助理工程师，从事铁前配矿、高炉操作与分析等研究。

当放宽。

(2) 目前焦面与喷吹煤价差在 150 元以上, 其固定碳 76.12%、硫含量 0.29%、发热值 5500cal/g 可满足高炉使用。喷吹煤粉性价比排序为焦面>低烟煤>无烟煤>高烟煤, 焦面性价比最高, 可通过煤粉结构调整将焦面和低烟煤逐步替换无烟煤和高烟煤, 降低燃料成本。

### 3 高炉经济炉料冶炼的实践方法

#### 3.1 高比例国内矿烧结的优化生产实践

##### 3.1.1 烧结杯实验验证

通过含铁料资源情况和成本性价比测算, 按照混匀矿化学成分和平均粒度的要求, 计算出配矿方案后进行烧结杯实验, 根据烧结杯试验结果(对烧结矿产质量指标的影响), 最终得到表 4 配矿比例和烧结矿成分, 并进行矿相分析。

通过测算制定的 60% 国内矿烧结成本最优配矿比例, 进行烧结杯实验和矿相分析, 如表 1 所示烧结杯实验结果进行成品率、转鼓指数、抗磨指数等各项理化指标的检测, 均达到标准要求。实验结果为实际生产进行了指导, 也为烧结优化配矿模型的建立提供了实验基础。

如图 1 所示对烧结矿进行矿相分析, 针状铁酸钙呈棕

灰色, 穿插于赤铁矿晶粒间, 形成网络状黏结结构, 对烧结矿强度有利, 另外赤铁矿与铁酸钙呈交织结构, 晶粒边界清晰, 烧结矿呈多孔状构造, 孔隙以不规则状为主, 孔径分布较均匀, 有利于还原。

##### 3.1.2 烧结生产实践及指标情况

相比较进口矿, 国内矿多为精矿, 粒度较细水分较高, FeO 普遍在 25-28% 以上(降本硫酸渣和高铝矿除外), 有害元素含量较高<sup>[3]</sup>, 其中硫含量 0.1-0.3%, 由于烧结脱硫脱硝能力的限制, 增加国内矿比例时需控制混匀矿硫含量 < 0.18%。结合国内矿特性和前期烧结经验, 制定了烧结工艺控制方案和 60% 以上国内矿烧结工艺参数标准。

如表 2 可知, 通过调整烧结工艺参数, 烧结流量、料层厚度、点火温度以及负压来改善高国内矿配比的烧结矿质量。国内矿比例提升后, 烧结过程透气性波动相对较大, 烧结厂为改善造球性能, 对熔剂结构进行优化, 熔剂生料比由 55% 降至 35%, 操作中将烧结负压控制标准从 -16.5 ~ -17.0kPa 降低至 -15.0 ~ -15.5kPa, 料层厚度降低 150mm, 控制在 750-800mm, 根据透气性适当降低料层厚度保证烧结的均匀性以及终点控制达标。

表 1 配矿比例和烧结矿成分

项目	配比 / 化学成分 %							成品率	转鼓指数	抗磨指数	烧损率
	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>				
配比	20% 金布巴粉 +20% 超特粉 +45% 主流矿 +15% 缺陷矿							81.45	65.87	6.13	12.27
烧结矿	53.2	9.65	6.30	12.28	2.25	2.50	0.55				

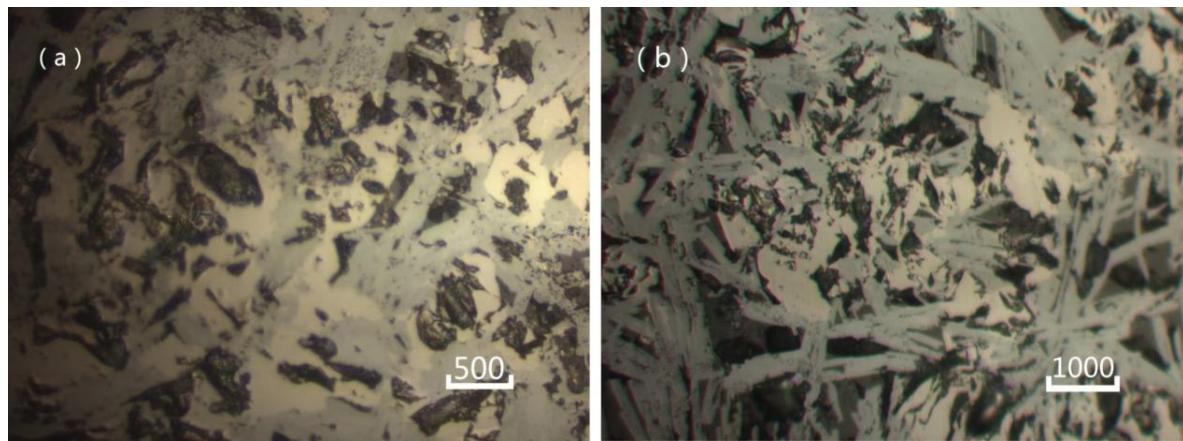


图 1 配加 60% 国内矿烧结矿相

表 2 烧结工艺参数标准

项目	流量 t/h	机速 mm/min	料层厚度 mm	负压 kPa	点火温度。 C	废气温度。 C	混合料水分
25% 国内矿	480 ~ 500	1.50	900 ~ 950	-16.5 ~ -17.0	1150 ± 50	120 ± 10	7.4 ± 0.1
60% 国内矿	430 ~ 450	1.60	750 ~ 800	-15 ~ -15.5	1160 ± 50	130 ± 10	7.1 ± 0.1
对比	-50	+0.1	-150	-1.5	+10	+10	-0.3

表 3 烧结矿成分及性能

TFe %	FeO %	SiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	碱度	转鼓 指数	≥16mm 粒级 %	低温还原粉化 RDI %			还原性 RI %
									+6.3mm	+3.15mm	-0.5mm	
53.37	9.23	6.31	12.30	2.35	2.45	1.95	76.65	58.08	53.37	75.29	7.25	77.97

由表 3 可以看出, 通过优化配矿后烧结矿成分稳定, 主要的热态指标、粒级、品位、FeO、碱度均在要求范围内, 烧结利用系数不断提升, 烧结矿合格率达到 99.5%, 优质品率高达 80% 以上。另外高炉有害元素和部分关键参数情况, 综合入炉品味降低至 54.53%, 碱负荷、锌负荷等有害元素控制均按上限控制。

### 3.2 炉料优化结构降本

(1) 以“高比例烧结矿、性价比块矿、含钛球团矿”为基础, 开展炉料结构优化降本。通过对块矿、球团矿以及烧结矿的成本性价比测算, 如表 4 所示, 酸性料综合吨度价排序为: 进口块矿>自产球团>外购球团>自产高钛球团。目前自产高钛球团性价比最低已暂停配加, 进口块矿性价比最高, 热裂指数为 15%, 通过高炉配加块矿实践, 块矿配

加≤5% 时炉况长周期稳定顺行。

(2) 燃料结构优化降本, 通过配加有性价比湿焦, 充分利用热风炉烟气余热回收系统烘干焦炭技术, 解决湿焦含水量高、含末量高的问题。通过不断地尝试摸索高炉在配加 40% 湿焦时, 焦炭烘干效果最好, 炉况长期稳定顺行, 炼铁指标和生产成本最优。

(3) 强化外围筛分管理降本, 2# 高炉 5 个烧结矿仓筛板均为上 7mm 下 5mm, 为进一步降低成本, 在确保高炉顺行的情况下更换两个槽下筛板为上 6mm 下 4.5mm; 要求每班对筛分设备进行检查, 查看筛网是否有破损、堵塞, 设备的传动部件、振动部件是否运行正常, 及时清理筛面, 防止物料在筛面上堆积或结块, 影响筛分效果。

表 4 酸性料性价比测算

品种	TFe%	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	P%	S%	吨度价	性价比排序
进口块矿	57.40	6.54	1.41	0.14	0.024	17.23	1
自产球团	61.80	8.62	1.80	0.01	0.010	17.45	2
外购球团	62.45	6.00	1.12	0.02	0.007	17.73	3
自产高钛球团	54.89	6.87	3.35	0.02	0.025	20.37	4

### 3.3 高炉应对经济炉料的措施

(1) 实行大风量、高富氧、高顶压操作, 抑制硅的还原, 改善了品位低、炉渣高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 条件下高炉中心气流偏弱的情况, 为增加风量、增大炉缸工作截面积提供了有力条件。2# 高炉通过调整风口面积, 将铁口区域的风口直径由 115mm 缩小为 110mm, 减少伴随低硅冶炼造成流动性变差, 风口频繁烧损的现象<sup>[4]</sup>; 并全部使用 620mm 长风口小套, 稳定操作炉型的同时, 兼顾炉缸侧壁温度偏高的区域, 为改善中心气流提供了下部基础。

结合冶炼高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 渣实践摸索, 选择适宜的镁铝比是改善风口区、炉腹及炉腰粘结、提升炉缸整体活性和炉渣流动性的重要因素<sup>[5]</sup>。烧结矿中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 由 2.03% 提高至 2.50%, 通过实践摸索渣中镁铝比 0.50 时流动性较差, 炉内压差波动大, 对产量与指标影响较大; 通过将烧结矿中 MgO 按  $2.25 \pm 0.1\%$ 、渣中镁铝比 0.65-0.70 控制, 与此同时炉渣二元碱度按  $1.20 \pm 0.02$  控制, 高炉的渣铁排放、脱硫效果得到明显改善。

(3) 疏导两股气流, 实现大矿批、平台 + 漏斗的上部操作, 经过不断地探索和尝试中心加焦和不带中心加焦两种布料矩阵<sup>[6]</sup>, 根据炉况运行以及指标等情况, 确定了使用中心加焦布料模式。2# 高炉基准布料矩阵 C<sup>38.5 36.5 34.0 31.5 28.5 25</sup><sub>3 2 2 2 2 2</sub>

<sub>5 13 2 4 ; O<sup>37.5 35.5 33.5 31.0 28.5 2 2</sup></sub>, 为了给大风量操作提供支撑, 将成分稳定质量合格的干熄焦作为中心骨架焦炭, 同时为了避免焦层厚度降低, 在稳定焦窗的情况下, 矿批由 61t 逐步扩大到 64t, 实施大矿批、大风量、中心加焦的布料操作, 高炉炉况稳定运行, 各项指标进入良性循环, 煤气利用率 44.5% 提升至 46.0%。

(4) 热制度方面以低硅冶炼为核心, 通过稳定 1250℃ 的高风温操作、优化煤气利用率、适当调整炉渣碱度、细化炉温调剂手段以及加强外围出铁管理等技术措施<sup>[7]</sup>, 两座高炉铁水月平均 [Si]:0.30%、物理热 1492℃ 以上, 硅偏差均在 0.09% 以内。

## 4 高炉降本炉料冶炼实践效果

(1) 通过优化炉料结构, 使用周边国内矿、降本物料以及冶金副产品(钢渣、除尘灰)替代高价进口矿, 直接降低采购成本, 国内矿配比从 25% 提高至 60% 以上, 同时, 利用焦煤差价和焦炭烘干技术项目配加 40% 湿焦, 降低燃料成本, 使生铁成本下降 80 元以上。

(2) 铁前系统通过不断摸索和技术优化, 烧结利用系数不断提升, 烧结矿合格率达到 99.5%, 优质品率高达 80% 以上; 炼铁在品位降低冶炼难度增大的情况下, 1# 高炉炉

况长周期稳定顺行，利用系数月均3.15以上，最高达3.25，高炉焦比（含焦丁）由365kg/t降低至355kg/t。

(3) 经济炉料冶炼需配套精细化管理与技术创新，原料质量的动态监测、操作人员的技能提升等。针对有害元素的控制，要敢于尝试和突破，高炉锌负荷0.50kg/t，碱负荷4.50kg/t，硫负荷4.52kg/t，炉渣 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量15.82%，均突破历史管控水平，但通过操作优化降低有害元素的影响，调整镁铝比0.65，渣铁流动性良好，炉况长周期稳定顺行。

## 5 结语

汉钢公司通过走“经济炉料”路线，适当放宽有害元素控制、优化铁前操作，高炉运行情况和成本、指标均有较大进步，为进一步增加国内矿配比至70%-80%以上提供实践依据，对持续配加降本物料和突破有害元素控制上限奠定了操作基础。

## 参考文献

[1] 吴诚诚,卞卫新,张宝婷.汉钢1号高炉经济炉料下快速开炉实

- 践[J].山西冶金,2025,48(04):146-148.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1167/tf.2025.04.053.
- [2] 陈小敏,邓勇.新钢8号高炉经济炉料操作实践[J].江西冶金,2015,35(04):9-12.
- [3] 刘璐,王艺慈,贾西明.包钢4150 m<sup>3</sup>高炉使用经济炉料操作实践[J].包钢科技,2019,45(02):19-22.DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.02.007.
- [4] 王尚东.莱钢1880m<sup>3</sup>高炉炉役后期经济冶炼实践[J].山东冶金,2017, 39(04):14-16.DOI:10.16727/j.cnki.issn1004-4620.2017.04.006.
- [5] 王震.天铁6号高炉经济炉料条件下的生产实践[J].天津冶金,2016,(03):3-5.
- [6] 卢建光,魏航宇,高远,等.邯钢5号高炉“经济炉料”条件下的生产实践[J].炼铁,2015,34(05):29-32.
- [7] 关中.天铁6号高炉高产技术攻关实践[J].天津冶金,2021,(06):8-10+14.

# Case-based research and development method and path analysis of mechanical automation equipment

Wei Fan Qi An Cui Zhang

Sanda University, Shanghai, 210202, China

## Abstract

To address challenges in mechanical automation equipment R&D such as multidisciplinary complexity and high trial-and-error costs, this paper proposes a systematic R&D methodology of “requirement anchoring-coordinated design-physical/virtual validation”. Using an intelligent copper sleeve drilling machine as a case study, it provides a detailed analysis of the entire process from requirement conversion, functional module decomposition to key technology breakthroughs.

## Keywords

mechanical automation; intelligent fixture; closed-loop control; finite element analysis

# 基于案例的机械自动化设备课题研发方法与路径解析

范维 安琪 张翠

上海杉达学院，中国·上海 210202

## 摘要

针对机械自动化设备研发中多学科耦合复杂、试错成本高等难题，本文提出“需求锚定-协同设计-虚实验证”的系统化研发方法。以智能铜套钻孔设备为实证案例，详细解析了从需求转化、功能模块分解到关键技术攻关的全流程路径。研发过程中，通过三维建模与静力学仿真优化床身结构，采用PLC集成传感器构建闭环控制系统，实现钻孔主轴转速6000 r/min下的 $\pm 0.01\text{mm}$ 动态精度控制。案例表明，该方法可减少设计变更83%，样机一次合格率达91.6%，为高复杂度自动化装备开发提供可复用的工程范式。

## 关键词

机械自动化；智能夹具；闭环控制；有限元分析

## 1 引言

全球制造业正经历以智能化为核心的第四次产业变革。据国际机器人联合会（IFR）2023年度报告显示，中国工业机器人安装量连续六年位居全球首位，年复合增长率达23.6%。这一现象深刻反映了机械自动化设备在提升制造效能中的关键作用<sup>[1]</sup>。然而，高端装备研发仍面临多重挑战，如多物理场耦合设计复杂、控制算法实时性不足、跨平台集成兼容性差等问题导致研发周期普遍较长<sup>[2]</sup>。本文通过解构典型研发案例，提出系统性解决方案，为行业提供可复用的工程实践路径。

## 2 需求驱动的研发框架构建

研发初始阶段需建立严格的需求锚定机制。在汽车变速箱装配线自动化改造项目中，研发团队通过现场工时测定发现人工装配过程中螺纹锁付环节耗时占比达34%，且扭矩合格率仅91.3%。基于此，采用质量功能展开（QFD）工具将“提升装配精度”、“缩短节拍”等12项用户需求转化为技术参数，最终明确核心指标：单件装配时间≤45秒、扭矩控制精度 $\pm 0.8\text{N}\cdot\text{m}$ 、设备MTBF（平均无故障时间）≥2000小时<sup>[3]</sup>。这一目标定义方式使后续设计偏离率降低67%。

## 3 机械自动化设备设计方法

### 3.1 设备功能设计

设备研发的第一步，需要根据需求分解设备的主体功能。例如该设备总体功能框图如下，此框图提供了一个高层次的视图，可展示套筒钻孔数控机床的主要组成部分及其功能。

【基金项目】上海杉达学院2025年度校级研究生课程建设项目《课题研发或案例研究》资助。

【作者简介】范维（1982-），男，中国山西晋中人，博士，副教授，从事智能装备研究。

操作面板	控制计算机	伺服电机
显示屏	存储单元	驱动器
输入/输出接口	通信接口	传感器
网络接口	同步接口	

**操作面板：**由各种操作按键、状态指示灯构成，用于完成基本功能操作和人机交互。

**显示屏：**提供机床工作状态、程序信息等视觉反馈。

**输入 / 输出接口：**用于与外围设备进行数据交换，如程序输入、输出结果等。

**网络接口：**实现机床与网络的连接，便于远程监控和程序更新。

**控制计算机：**控制系统的调度指挥机构，一般为微型

机或微处理器，负责解释和执行数控程序。

**存储单元：**存储机器人工作程序的外围存储器，如硬盘和软盘。

**通信接口：**实现机床与其他设备或上层计算机系统之间的通信。

**同步接口：**用于多个设备或轴之间的同步控制。

**伺服电机与驱动器：**负责执行控制计算机发出的运动指令，驱动机床各轴的精确移动。

**传感器：**用于位置检测、视觉、触觉、力觉等，提供机床工作状态的实时反馈。

### 3.2 机械本体结构设计

设备功能明确后，根据功能设计设备的本体结构。例如在某型智能铜套钻孔设备开发中，设备总体结构设计由床身、多功能顶尖工装、钻孔装置、智能控制系统、自动排屑装置五部分组成。根据基本功能设计，需设计该设备的三维结构简图，但此时尚无法确定各系统零部件的具体详细三维图，简图的作用可用来解析各分系统功能。

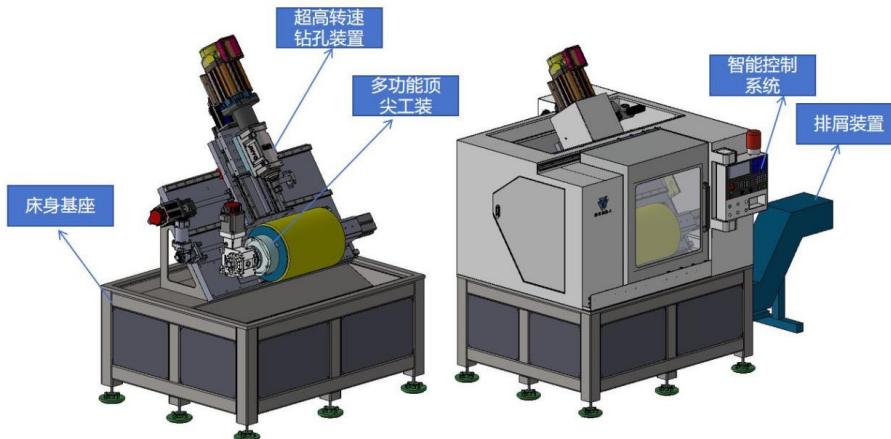


图 1 钻孔设备主体结构说明

(1) 床身基座对钻孔设备形成支撑。

(2) 多功能顶尖工装对铜套进行外部固定，实现不同尺寸铜套工件的多种固定方式。

(3) 超高转速钻孔装置转速在 4000-6000r/min 通过钻夹头夹持和驱动钻头进行旋转，通过进给机构控制钻头的进给速度和深度，通过冷却系统在钻孔过程中向切削区域提供冷却液，通过主轴箱支撑和安装钻夹头、进给机构、冷却系统等部件。

(4) 智能控制系统通过模块化设计和编程，实现钻孔装置的高效、精确和智能化控制。

(5) 自动排屑装置通过分离器、传送机构、驱动系统、控制系统的合理设计将钻孔过程中产生的切屑集中到收集箱中，可方便地进行清理和排空。

### 3.3 主要技术方案设计

在主要技术方案设计阶段，需要对设备本体各分系统进行详细设计。本案例详细设计如下。

#### 3.3.1 底座设计

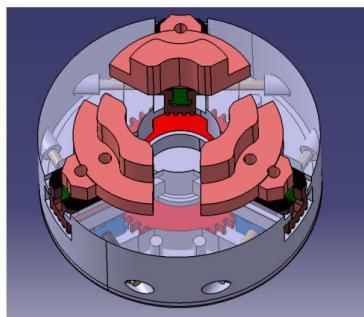
结构应保证机床的稳定性，底座的结构大小也决定了立式加工中心 Y 轴的移动行程。机床外形尺寸为 1200 mm × 1000 mm × 1500 mm，采用底部重式结构，最大限度地减少加工过程中的振动，支架结构能承受大侧弯矩<sup>[4]</sup>。对床身进行静力学分析可以了解床身受到的应力大小以及床身的变形情况，静力分析所得结果如图所示。

#### 3.3.2 多功能顶尖工装设计

针对在加工套筒零件时产生的装夹变形以及加工变形的难加工属性问题，通过对比分析传统多爪卡盘夹具存在的不足，设计一种在加工毛坯零件内外表面时均可进行定位的装夹与内撑一体式夹具；并对改进后夹具卡爪进行有限元分析，验证夹持稳定性；最终给定薄壁套筒零件的加工工艺方案，为加工其他薄壁套筒零件提供参考。

夹具方案如图所示，装配关系为：螺纹杆 2 与楔形块 3 螺纹连接；楔形块 3 底部与中心齿轮 4 轮齿啮合；楔形块

3 顶部滑道与卡爪基座 5 凹槽啮合；卡爪连接块 6 位于基座内部与卡爪 7 通过螺钉连接固定。工作过程为：需要对零件进行夹持时，螺纹杆顺时针转动，带动楔形块移动，与楔形块啮合的中心大齿轮转动，齿轮带动啮合的其他两个楔形块同步移动，三个楔形块顶部滑道推动卡爪基座连带卡爪一同向轴心运动，完成同轴夹持零件效果；对零件内撑时，同理只需将螺杆逆时针转动，卡爪反向运动，达到对零件的涨紧效果。



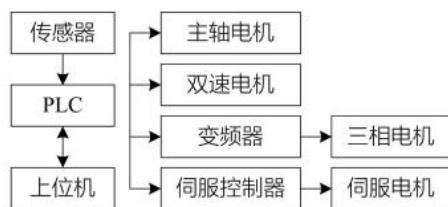
夹具外圆示意图

夹具外圆示意图如上图所示，卡爪对直径尺寸在一定范围内的棒料进行夹持时，每个卡爪与棒料均有两个大面积接触点。

夹具在 CATIA 三维软件中预先已经进行三维建模并完成装配<sup>[5]</sup>，取其中一个卡爪零件作为有限元分析对象，将零件进行网格划分，得到 4136 个划分节点以及 17748 个单元；除保留卡爪径向自由度外，对其余自由度全部约束，对底座部分采用固定约束；经计算对双扇面施加  $52083.3\text{N/m}^2$  的压强；对其求解，得出其中最大应力为  $2.77 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ，位于卡爪对工件的轴向定位面与扇面之间。最大位移量为  $1.51 \times 10^{-3}\text{mm}$ ，位于扇面顶端外侧边缘。通过对比铝合金材料的强度极限值，可知设计的卡爪满足强度条件。

### 3.3.3 智能控制系统设计

控制系统以 PLC 为核心，通过传感器检测电机工作进度实现闭环控制，同时和上位机结合形成人机控制界面，实时监控运行状态，具体结构如图所示。



控制系统结构图

本控制系统的触摸屏页面设计包括自动控制画面、手动控制画面和参数监控画面，3个画面均设有画面跳转按钮，用于画面切换。自动控制画面设有设备启停、复位功能，手动控制画面设有手动控制设备各部件功能。参数监控画面设置有参数设置窗口和参数监视窗口。

### 3.4 主要技术参数设定

主轴电机	大于 3000 转 /min
工件最大回转直径 mm	500
弹簧夹头型号	ER32
加工最大长度 mm	420
纵向 (Z 轴) 最大行程 mm	260
横向 (X 轴) 最大行程 mm	500
主轴最高转速 r/min	6000
主轴最低转速 r/min	200
纵向 (Z 轴) 快速移动速度 mm/min	5000
横向 (X 轴) 快速移动速度 mm/min	5000
纵向 (Z 轴) 控制定位精度 mm	$\pm 0.02$
横向 (X 轴) 控制定位精度 mm	$\pm 0.02$
孔径加工直径 mm	$\phi 3-\phi 16$ (高力黄铜)
尾座套筒锥度	专用顶尖
主电机功率 kw	5.5
机床外形尺寸 (长 × 宽 × 高 )mm	1600 × 1760 × 2300

## 4 结论

机械自动化设备研发需遵循“需求锚定 - 协同设计 - 虚实验证”三位一体模式。需求工程方面，采用 QFD 等工具将用户需求转化为量化指标，某项目由此减少后期设计变更 83%。技术融合层面，机电耦合设计使半导体设备定位精度突破 8nm，达国际先进水平。验证体系创新，虚拟仿真技术将实物迭代次数降低 75%，研发成本节约 52%。

实证表明，优化后的机械设备研发方法使装备一次交付合格率提升至 91.6%，为制造业智能化转型提供核心支撑。

## 参考文献

- [1] 王田苗. 工业机器人技术发展路线图[M]. 科学出版社, 2023: 156-189.
- [2] Groover M P. Automation in Production Systems[M]. Pearson, 2022.
- [3] 张曙. 数字孪生驱动的智能制造[J]. 机械工程学报, 2024, 60(3): 1-10.
- [4] ISO 13849-1. Safety of machinery[S]. 2023.
- [5] Kagermann H. Reference Architecture Model for Industrie 4.0[R]. Plattform Industrie 4.0, 2023.

# Research Progress on the Impact of Co-fermentation of *Kazachstania humilis* and *Fructilactobacillus sanfranciscensis* on Quality of Dough and Steamed Breads

Ao Fu Zicheng Wang Yujiao Du Jiarui Wang Xin Wang

College of Life Sciences, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi, 030031, China

## Abstract

*Kazachstania humilis* and *Fructilactobacillus sanfranciscensis* are core microorganisms in sourdough fermentation. This study reveals the synergistic mechanism of *K. humilis* and *F. sanfranciscensis* co-fermentation: *K. humilis* enhances fermentation efficiency through gas production and acid tolerance, while *F. sanfranciscensis* improves dough rheology and flavor via acidification and exopolysaccharide synthesis. Their metabolic synergy strengthens gluten structure, increasing steamed bread volume, softness, and shelf life while reducing anti-nutrients, allergenicity, and glycemic index. These findings support the development of healthier fermented staple foods.

## Keywords

Sourdough; steamed bread; *Kazachstania humilis*; *Fructilactobacillus sanfranciscensis*; Co-fermentation

# 矮小哈萨克斯坦酵母菌与旧金山果实乳杆菌共发酵对面团及馒头品质影响的研究进展

付敖 王子成 杜玉娇 王佳瑞 汪鑫

山西大学生命科学学院，中国·山西 太原 030031

## 摘要

矮小哈萨克斯坦酵母菌 (*Kazachstania humilis*) 与旧金山果实乳杆菌 (*Fructilactobacillus sanfranciscensis*) 是酸面团发酵的核心微生物。本研究首次揭示了 *K. humilis* 和 *F. sanfranciscensis* 共发酵的协同机制：*K. humilis* 通过产气、耐酸等特性提升发酵效率，*F. sanfranciscensis* 则通过酸化、胞外多糖合成等改善面团品质和风味。二者协同作用可增强面筋结构，提高馒头品质，降低致敏性并延长货架期，为健康主食开发提供理论支撑。

## 关键词

酸面团；馒头；矮小哈萨克斯坦酵母菌；旧金山果实乳杆菌；共发酵

## 1 引言

酸面团是以谷物粉和水经微生物发酵的传统发酵剂，中 国东汉已用，古埃及可追溯至公元前 3000 年<sup>[1]</sup>，现因其风味、营养及延长保质期而在工业化与手工面食中广泛应用<sup>[2]</sup>。单一酵母仅产 CO<sub>2</sub> 和乙醇，风味单调；引入乳酸菌后，其胞外多糖、有机酸和挥发物丰富香气、改善流变与面筋结构。矮小哈萨克斯坦酵母菌 (*Kazachstania humilis*) 是从发酵面团中分离出的第二大酵母菌株，有优良的耐酸性，旧金山果实乳杆菌 (*Fructilactobacillus sanfranciscensis*) 是酸面团中的优势乳酸菌，通过其代谢产物改善面制品的感官特性、质地、货架期、风味及营养健康属性。二者共发酵能有效改善

面制品品质<sup>[3]</sup>。

本研究旨在总结 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵的协同机制，评价该共发酵体系对酸面团流变学特性、中国传统主食馒头感官品质与营养价值的提升效果，为发酵面食的工业化生产提供理论依据。

## 2 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 的代谢特性

### 2.1 *K. humilis* 的代谢特性

*K. humilis* 是面团中仅次于酿酒酵母的次优势酵母菌，是一种麦芽糖阴性酵母，属于子囊菌芽殖酵母，无芽孢和鞭毛，细胞形态通常为卵圆形或椭圆形，直径约为 2~5 μm<sup>[4-5]</sup>。菌落呈圆形或不规则形状，表面光滑，颜色通常为乳白色（例如 *K. humilis* CBS 5658T，见图 1）。*K. humilis* 能够快速利用葡萄糖、半乳糖等单糖及蔗糖、海藻糖等二糖产气，但其麦芽糖阴性特性限制了其对面团中麦芽糖的利用<sup>[6]</sup>。*K.*

【作者简介】付敖（2005-），女，中国山西人，本科，从事微生物资源利用研究。

*humilis* 能够通过 Ehrlich 途径从支链氨基酸产生高级醇，并通过酯化反应生成酯类，同时还会产生少量的有机酸，这些物质对面制品的风味有重要贡献<sup>[7-8]</sup>。此外，其能够产生多种维生素，降解面团中的抗营养物质，并增加可溶性膳食纤维和抗氧化物质的含量<sup>[9]</sup>。

## 2.2 *F. sanfranciscensis* 的代谢特性

*F. sanfranciscensis* 为革兰氏阳性菌，细胞呈短杆状或中长杆状，微弯曲，两端钝圆，尺寸约为 (0.6~0.8) × (2~4) μm。其菌落形态光滑、圆形且半透明（例如 *F. sanfranciscensis* Ls-1001，见图 1）。作为酸面团的核心乳酸菌，*F. sanfranciscensis* 高度适应酸面团环境。其酸化能力是其在酸性环境中生存的关键：通过高效代谢六碳糖（生成乳酸、乙酸、乙醇及 CO<sub>2</sub>）和五碳糖（生成乳酸与乙酸），显著降低面团 pH 至 3.8~4.5，赋予产品独特酸味的同时，抑制腐败菌生长。该菌作为专性异型发酵乳酸菌，优先通过磷酸酶途径分解麦芽糖，既为自身供能，又释放葡萄糖供酵母利用，形成高效的碳源互补机制。例如，*F. sanfranciscensis* TMW 1.1150 在有无酵母共存时均表现出对麦芽糖的高效利用，且其代谢不受电子受体限制<sup>[10]</sup>。

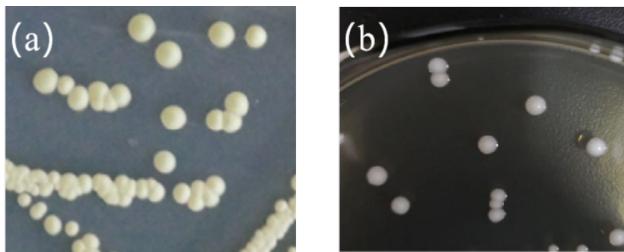


图 1 *K. humilis* CBS 5658T (a) 和 *F. sanfranciscensis* Ls-1001 (b) 菌落图<sup>[6][11]</sup>

## 3 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵对面团及馒头品质影响

*K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵可显著提升面团发酵效率，优化面筋网络结构。同时，该组合应用于馒头中能改善感官、质构与风味，增强营养并延长货架期（图 2）。

### 3.1 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵对面团的影响

*K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵显著提升面团的产气性能与发酵效率。*K. humilis* 在中低水分面团中展现出比酿酒酵母更高的产气速率及更早的产气峰值时间，但其麦芽糖阴性特性限制了其对底物的利用。而 *F. sanfranciscensis* 通过麦芽糖磷酸化酶分解麦芽糖为葡萄糖 -1- 磷酸，两者共发酵通过代谢互补实现协同作用：*K. humilis* 利用葡萄糖，*F. sanfranciscensis* 则以麦芽糖为主要碳源，避免了底物竞争<sup>[12]</sup>。Rogalski 等<sup>[13]</sup> 通过动态发酵实验证实，两菌共发酵时 CO<sub>2</sub> 释放量较单一酵母发酵提升 18%，发酵动力学曲线更稳定。

*F. sanfranciscensis* 代谢产生的有机酸使面团 pH 降至 3.8~4.0，这一酸性环境具有双重作用：一方面激活小麦蛋白酶促进面筋水解，另一方面通过谷胱甘肽还原酶调控二硫键动态重组，优化面筋网络交联结构，从而同步提升了面团的延展性和弹性。同时，*K. humilis* 通过快速释放 CO<sub>2</sub> 形成均匀气孔结构以改善面团拉伸性能，同时其分泌的 1,3-β-葡聚糖苷酶可降解阿拉伯木聚糖，增加可溶性膳食纤维含量，提升面团持水性和黏弹性<sup>[2]</sup>。

### 3.2 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵对馒头的影响

两菌共发酵显著提升馒头的比容、松软度、硬度和咀嚼性等感官与质构特性。两菌共发酵产生 CO<sub>2</sub>、有机酸形成均匀气孔，*F. sanfranciscensis* 产生的胞外多糖可延缓淀粉老化，降低馒头储存过程中的硬度增加速率<sup>[11]</sup>，通过产生果聚糖增大馒头体积并降解麦谷蛋白，而 *K. humilis* 则通过优化孔隙结构提升膨松度，二者协同作用显著改善了馒头的咀嚼性<sup>[14]</sup>。

共发酵赋予馒头独特的风味物质。*F. sanfranciscensis* 代谢糖类产生的酸化效应会生成乙酸乙酯、醇类、醛类和酸类，同时其蛋白酶活性促进面筋蛋白分解为小分子肽和游离氨基酸，进一步通过美拉德反应生成风味前体物质<sup>[1-2]</sup>。同时，*K. humilis* 代谢也会产生挥发性酯类，在与乳酸菌共发酵时，可以促进 *K. humilis* 产生吡嗪类和呋喃类物质<sup>[13]</sup>，会赋予馒头特有的酸香、烤香和果香。此外，两菌的协同作用可释放结合态酚类化合物，增强抗氧化活性并提升风味层次<sup>[8]</sup>。

共发酵有助于增强馒头的营养与功能特性。*F. sanfranciscensis* 的蛋白酶系统可部分水解麸质蛋白，减少致敏性肽段，可用于开发无麸质发酵馒头。郭晶斐等<sup>[14]</sup> 利用 *F. sanfranciscensis* Gm4 发酵降低麸质蛋白的致敏性。两菌共发酵产生的短链脂肪酸、氨基酸、酚类化合物和肽会降低馒头的血糖指数，也可以调节肠道菌群发挥益生功能<sup>[1]</sup>。

此外，两菌共发酵可激活并分泌植酸酶，显著降解酸面团中的植酸，提升膳食纤维与矿物质的生物利用率<sup>[1]</sup>。

馒头储存易老化变硬并滋生微生物，缩短保质期；两菌共发酵产生的有机酸与 *F. sanfranciscensis* 产生的细菌素协同抑菌，延长货架期。

## 4 结论与展望

本文系统分析了酸面团常见的发酵菌 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 的生物学特征以及共发酵对面团及馒头的综合品质的影响。二者协同发酵不仅改善了馒头的比容、抗老化性和柔软度，还通过降解植酸、降低麸质致敏性及血糖指数据提升了营养价值。此外，共发酵产生的有机酸与细菌素有效抑制腐败菌，显著延长了货架期，为传统发酵面食的功能化改进提供了新思路。

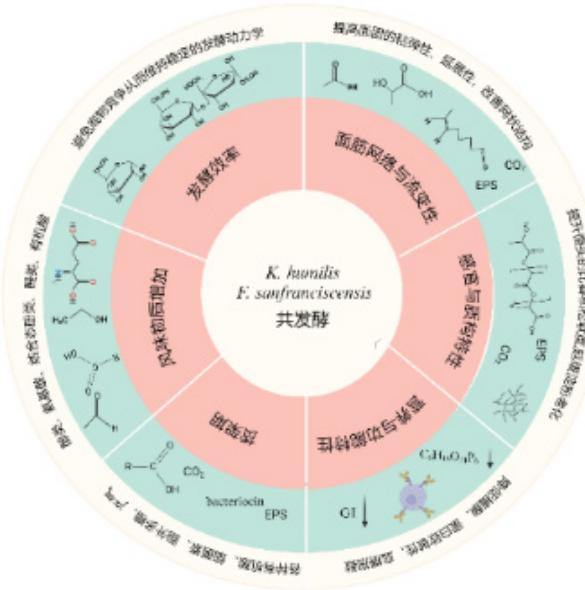


图 2 *K. humilis* 与 *F. sanfranciscensis* 共发酵对发酵面食的影响

## 参考文献

- [1] 张国华, 贺霞霞, 路婷, 等. 旧金山果实乳杆菌生物学特性及其对发酵面食影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(01): 431-438.
- [2] YANG H, LIN J, HAN X, et al. Functional Characterization of Different *Fructilactobacillus sanfranciscensis* Strains Isolated from Chinese Traditional Sourdoughs [J]. 2024, 13(17): 2670.
- [3] DE VUYST L, COMASIO A, KERREBROECK S V J C R I F S, et al. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients [J]. 2023, 63(15): 2447-2479.
- [4] MIELECKI D, DETMAN A, ALEKSANDRZAK-PIEKARCZYK T, et al. Unlocking the genome of the non-sourdough *Kazachstania humilis* MAW1: insights into inhibitory factors and phenotypic properties [J]. 2024, 23(1): 111.
- [5] 王晴晴. 传统发酵剂中酵母菌在全麦馒头面团发酵中的适应性研究 [D], 2023.
- [6] WITTWER A E, SICARD D, HOWELL K S J T I M. *Kazachstania humilis* [J]. 2022, 30(10): 1012-1013.
- [7] PARK S-H, KIM S, HAHN J-S J A M, et al. Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for the production of isobutanol and 3-methyl-1-butanol [J]. 2014, 98: 9139-9147.
- [8] 苏珊, 王玉婷, 吴洁, 等. 酸面团中的优势微生物及其相互作用研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(07): 316-323.
- [9] NUOBARIENE L, HANSEN Å S, ARNEBORG N J L-F S, et al. Isolation and identification of phytase-active yeasts from sourdoughs [J]. 2012, 48(2): 190-196.
- [10] ROGALSKI E, EHRENMANN M A, VOGEL R F. Strain-specific interaction of *Fructilactobacillus sanfranciscensis* with yeasts in the sourdough fermentation [J]. European Food Research and Technology, 2021, 247(6): 1437-1447.
- [11] 张国华, 张纬珍, 梁武龙, 等. 一株高产胞外多糖乳酸菌的鉴定及其特性研究 [J]. 中国食品学报, 2020, 20(12): 229-238.
- [12] MARTORANA A, GIUFFRÈ A M, CAPOCASALE M, et al. Sourdoughs as a source of lactic acid bacteria and yeasts with technological characteristics useful for improved bakery products [J]. European Food Research and Technology, 2018, 244(10): 1873-1885.
- [13] ROGALSKI E, EHRENMANN M A, VOGEL R F J E F R, et al. Strain-specific interaction of *Fructilactobacillus sanfranciscensis* with yeasts in the sourdough fermentation [J]. 2021, 247(6): 1437-1447.
- [14] 郭晶斐, 贺霞霞, 涂建, 等. 酸面团中优势乳酸菌和酵母菌对麦谷蛋白结构的影响 [J]. 中国酿造, 2022, 41(04): 142-146.

# Research on design concept and application of hardware test platform

Wei Yao

Siemens Gamesa Renewable Energy Technology (China) Co., Ltd., Tianjin, 300384, China

## Abstract

Gamesa Electric adopts SKIIP to construct a frequency conversion control cabinet with the generator rotor side. The relevant hardware test platform built based on this realizes interconnection through an internal closed-loop method. This platform can not only ensure that each IEC converter cabinet completes the test in strict accordance with the design and development requirements, ensuring the stable operation of the product under rated working conditions, but also integrates a variety of test instruments, which can fully meet the functional test requirements of each key electrical component, and provides a solid hardware support for the performance verification and optimization of the frequency conversion circuit.

## Keywords

hardware test platform; frequency conversion control cabinet; photovoltaic inverter cabinet

# 硬件测试平台设计理念与应用研究

姚威

西门子歌美飒可再生能源科技（中国）有限公司，中国·天津 300384

## 摘要

Gamesa Electric 发电机转子侧采用 SKIIP 构建拓扑结构的变频控制柜体，基于此搭建的相关硬件测试平台，通过内部闭环方式实现互联。这一平台不仅能确保各 IEC 变频柜严格按照设计开发要求完成测试，保障产品在额定工况下稳定运行，更集成了多种测试仪器，可全面满足各关键电气部件的功能性测试需求，为变频电路的性能验证与优化提供了坚实的硬件支撑。

## 关键词

硬件测试平台；变频控制柜体；光伏逆变柜

## 1 研究背景与意义

### 1.1 研究背景

变频电路作为新能源发电设备核心，其性能与可靠性决定整机效率与安全性。Gamesa Electric 双馈型发电机转子侧控制柜采用 SKIIP 拓扑变频电路，因高功率密度、低损耗优势，广泛应用于风电、光伏等领域。但该拓扑电气特性复杂，传统通用测试平台存在明显局限：

**拓扑适配性不足：**难以精准匹配其运行逻辑，易因参数偏差导致测试结果失真，无法反映实际工况表现。

**测试场景覆盖有限：**多聚焦额定工况，缺乏极端工况、故障模拟等复杂场景支撑，难以全面验证可靠性边界。

**国产化验证能力缺失：**核心电气件国产化进程中，需专业化平台验证国产器件缺陷与兼容性，现有平台适配性不足。

**标准合规性衔接不足：**国际市场对 IEC 标准合规性要求严苛，传统平台在标准对接与自动化认证报告生成上存在技术断层。

此外，同类实验室在控制策略独特性与功率等级适配性上，无法满足该变频控制柜设计测试需求，导致产品研发性能验证存在盲区，制约技术迭代效率。因此，构建专业化测试平台具有迫切现实需求。

### 1.2 研究意义

#### 1.2.1 技术层面：提升测试精准性与系统性

平台基于 Gamesa Electric 产品专项设计，通过网侧电压经大容量自耦变压器内部闭环链接，实现 IEC 变流器柜、控制单元、负载模拟装置深度协同，完整复现产品全流程状态。架构设计解决通用平台适配性问题，闭环反馈机制实时捕捉参数波动，提升测试数据连贯性与完整性，为系统优化与器件选型提供精准依据。

集成多类型专用测试仪器，既满足额定工况稳定性验证，又可开展功率器件、电容、传感器等关键电气件功能性测试，预留极限工况、故障模拟等拓展接口，形成“器件

**【作者简介】** 姚威（1981—），男，中国天津人，本科，助理工程师，从事变频器、电力电子、EMC、认证等研究。

- 模块 - 系统”全层级测试能力，填补特定拓扑变频电路系统化测试空白。

### 1.2.2 产业层面：推动国产化进程与标准合规

通过系统化测试，暴露国产电气件设计缺陷、兼容性问题及运行隐患，为国产器件迭代提供数据支撑，降低后期现场应用故障概率，推动核心电气件国产化替代，减少产业对进口器件依赖。

平台控制系统及软件严格遵循 IEC 等国际标准，确保测试结果符合行业规范，为产品通过国际认证、进入全球市场奠定基础，助力提升新能源装备国际竞争力。

### 1.2.3 战略层面：强化核心技术优势与可持续发展

平台建立使 Gamesa Electric 形成从设计到验证的完整技术闭环，具备特定变频控制柜自主测试能力，摆脱对通用设备依赖，提升产品开发效率。技术自主性强化企业在新能源发电设备领域核心竞争力，为后续技术迭代提供可持续实验支撑。

平台预留向上兼容接口，适配更高功率等级产品测试，满足行业技术升级长期需求。通过保障风电、光伏等场景变频电路稳定运行，为清洁能源装备安全高效运转提供关键保障，具有显著绿色发展价值。

综上，该测试平台构建在技术突破、产业升级与战略发展层面意义重大，为特定拓扑变频电路性能优化、国产化推进及标准合规提供系统性解决方案。

## 2 实验室设计理念的理论基础

### 2.1 核心设计理念的提出

**定位：**模块化与智能化融合，平台针对陆上风电及光伏逆变器设计搭建；可持续发展，以最小供电电能实现大功率产品满载运行，形成最优测试方案，满足 IEC 标准；安全优先，实验室与被测样品串联，任一方故障报警均触发安全停车及电源切断，实现快速响应。

**依据：**基于产品运行状态、环境温度、功率能耗差异及适用产品切换需求，结合数据实时交互、测试过程监控记录、问题及时发现及低能耗运行理论。

**目标：**达成绿色环保核心价值，以最小供电电能完成大功率产品满载运行。

### 2.2 设计原则与框架

**功能性原则：**满足核心实验需求，测试平台软件可精准测量数据至百分位，记录保存数据，记录时间参数可调，实时显示监控界面、温度及信号曲线并支持下载。操作界面简洁易用，初设后自动运行，仅需监控数据；数据异常或故障时，系统自动记录信息并快速截取故障曲线，便于后续分析排除。

**兼容性原则：**适应多产品实验场景，采用 RJ45 和光纤通讯，适配 Gamesa Electric 绝大多数产品，可应用于 DAC 陆上产品的变频控制柜和光伏逆变柜。

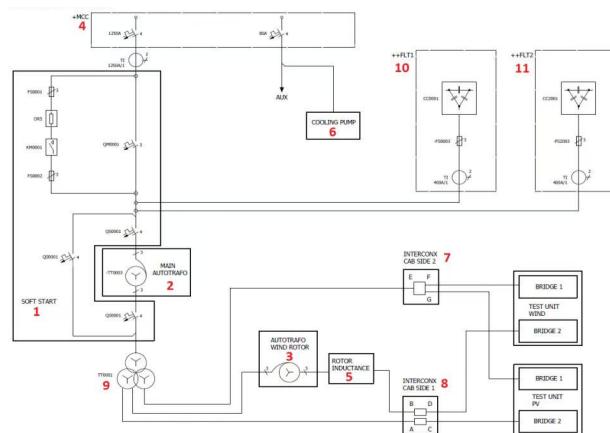
**安全性原则：**强化风险防控，平台与产品安全应急链

接，通过内部紧急停车辅助触点串联，实现急停响应同步；装设自动烟雾传感器和排烟消防功能，与厂区物业消防网络连接，信息同步记录留存。

**可持续原则：**绿色设计，针对被测试设备高达 6MW 的功率，采用自耦变压器二次回路循环设计，降低满功率测试能耗，最大功率使用 252kW，节省 80% 电能（变频器接电动机满负荷运转状态），并依据运行时间累计电能，详细分析计算测试平台系统能耗。

## 3 实验室架构设计与功能实现

### 3.1 空间布局设计



系统拓扑图

测试平台采用双层式架构设计，各层级功能分区明确，以实现被测样品与动力系统的高效协同运作。

#### 3.1.1 平面布局与空间规划

从平面图来看，平台沿建筑轴线进行规整布局，整体呈现出对称且有序的空间分布。一层作为被测样品的存放区域，其平面尺寸遵循建筑设计，长与宽的尺寸参数依据建筑轴线间的距离确定，为被测样品的放置提供了充足且规整的空间。同时，一层设有测试体进出大门，方便被测样品的运输与装卸，大门的位置经过精心规划，确保与外部运输通道顺畅衔接。

二层为动力系统存放层，其平面布局与一层相互呼应，通过合理的空间划分，为动力设备提供了稳定的安装空间。在垂直方向上，两层之间通过楼梯实现人员与设备的通行，楼梯的位置设置在测试工作间附近，便于操作人员在两层之间快速往返，提高工作效率。

#### 3.1.2 结构支撑体系

平台的结构支撑由建筑立柱构成，这些立柱均匀分布在平台的四周及关键部位，形成了稳固的框架结构。立柱采用型钢或钢筋混凝土材质，具有足够的强度和刚度，能够承受平台自身重量以及被测样品和动力系统的荷载。

在水平方向，楼板采用钢筋混凝土现浇板或预制板，通过与立柱的可靠连接，形成了连续的水平承重结构，确保两层平台在荷载作用下的稳定性和安全性。

### 3.1.3 功能分区与设备布置

一层的被测样品存放区，根据被测样品的尺寸和数量，进行了合理的区域划分。区域内设置有导轨、支架等辅助装置，用于支撑和固定被测样品，确保其在测试过程中的位置稳定。同时，为了便于对被测样品进行测试操作，存放区附近设置有测试接口和操作平台及冷却泵（COOLING PUMP）。

二层的动力系统存放区，按照动力设备的功能和类型进行布局。动力设备包括主供电单元（+MCC）、软启动单元（SOFT START (1)）、主变压器（MAIN AUTO-TRAF(2)）等，这些设备通过电缆桥架和管线进行连接，形成一个完整的动力传输网络。在设备布置时，充分考虑了设备的散热、通风和维护空间，确保动力系统能够长期稳定运行。

### 3.1.4 附属设施与安全设计

平台还配备了一系列附属设施，如测试工作间、楼梯、安全通道，消防烟感报警装置等。测试工作间位于平台的一侧，工作间内配备有测试仪器、监控设备等。工作间具有降噪功能，有一定程度降低在运行变频控制柜时产生的噪声，产品设定的最大噪声为不大于 85 分贝，工作间可以控制在不大于 60 分贝的一个安静环境给操作者。

楼梯的设计符合人机工程学原理，踏步高度和宽度适宜，便于人员通行。安全通道则是在紧急情况下人员疏散的重要通道，其宽度和走向经过严格设计，确保疏散顺畅。

此外，平台还设置了护栏、警示标识等安全设施，以防止人员坠落和设备损坏，保障平台在运行过程中的安全性。

#### 动力布局拓扑结构分析

**供电与配电：**主供电端（+MCC）设 1250A、80A 双断路器，构主辅双链路，为冷却泵、主变压器等供电，40kVA UPS 保障应急及稳定电源。1250A 支路经熔断器、接触器控制，支持 RJ45 远程操控；80A 支路直连冷却泵。

**软启动与控制：**软启动单元通过分段开关实现主变压器分级调压启动，双变压器级联调电压，隔离转子侧与网侧电源，避免环流和振荡。

**测试与滤波：**测试单元经双桥臂电路，支持 RJ45 远程分析电能质量、模拟负载；滤波电容与熔断器组成支路，保障输入质量。

**保护与监测：**多级保护体系含熔断器、断路器、接触器；电流互感器与 CCU 构监测闭环。

**技术特征：**动态负载适配、电能质量优化（畸变率  $\leq 5\%$ ）、高可靠性（MTBF  $\geq 10,000$  小时），为电力电子系统测试提供标准化平台，应用价值显著。

## 3.2 系统原理分析

**主电路：**采用多变压器级联和变流器组合拓扑，

400Vac 用电经主自耦变压器变压，变压器组实现电压调整与电能传输；变流器实现整流、逆变和变频，模拟不同工况电能质量与负载特性。

**控制与保护：**含软启动装置（分级调压启动，减小冲击）、控制机柜（逻辑控制等）；多级保护体系（熔断器短路保护、断路器过载欠压保护、接触器故障隔离）保障安全。

**冷却与辅助：**冷却系统为发热设备降温（光伏逆变器测试时不运行），采用风冷或水冷，冷却泵等辅助设备由温控。

**测试单元：**核心部分，与变压器组、变流器互联，实现电能质量分析和动态负载模拟，含高精度测量仪器与控制算法。

## 4 结论

本文围绕 GamesaElectric 发电机转子侧 SKIIP 拓扑变频控制柜硬件测试平台（HTB）展开研究，得出核心结论：平台采用双层式空间布局与闭环互联拓扑，构建“被测样品区 - 动力系统区”协同架构，解决传统平台适配性不足问题，提升测试数据连贯性与准确性；集成多功能，实现“器件 - 模块 - 系统”三级测试覆盖，可量化主变压器损耗；能暴露国产电气件问题，加速替代进程，且符合国际标准，电压畸变率  $\leq 5\%$ ；通过多重设计保障安全可靠，MTBF 达 10,000 小时以上，确保高功率测试稳定运行。

## 5 展望

针对现有平台技术边界与行业需求，未来优化方向如下：

**智能化升级：**引入数字孪生构建虚拟映射模型，实现测试工况预仿真与参数动态优化；开发 AI 故障诊断模块，结合温度阈值（如主变绕组 113.1°C）与功率数据（-252kW 反馈）提升预警准确率。

**场景拓展：**增设 -40°C ~ 85°C 极端环境模拟舱，开发展网扰动模拟功能，强化新能源并网适应性测试。

**远程自动化：**升级内联柜铜排为电动执行机构，实现 RJ45 远程组态；开发自动化脚本，支持 IEC 标准报告一键生成。

**功率兼容：**通过预留接口升级主变与滤波器容量，适配 10MW 以上大功率测试，契合高功率密度趋势。

上述升级将强化新能源装备测试竞争力，支撑清洁能源技术迭代。

## 参考文献

- [1] ELECTRICAL DIAGRAM\_HW TEST BENCH COMPLETE SOLUTION\_CH\_rev2\_4x\_IND
- [1] PROTEUS PV-EN-FAT
- [1] HARDWARE-TEST BENCH-COMMISSIONING-MANUAL\_R0.7

# Optimization configuration and benefit analysis of energy storage in power system

Dianli Liu

State Grid Beijing Daxing Power Supply Company, Beijing, 102600, China

## Abstract

Against the backdrop of global efforts to promote energy transition, the installed capacity and power generation of renewable energy represented by solar and wind energy in the power system are gradually increasing. However, the inherent intermittency, volatility, and randomness of renewable energy pose serious challenges to the safe and stable operation of the power system to a certain extent. With the acceleration of energy transformation, the proportion of renewable energy in the power system continues to increase. Energy storage technology, as a key technical support, plays an important role in optimizing the configuration of energy storage in the power system to improve its stability, reliability, and economy. This article deeply explores the value and basic points of optimizing energy storage configuration in the power system, and comprehensively analyzes its benefits, in order to improve the performance of the power system and create more considerable economic and social benefits through scientific and reasonable energy storage optimization configuration.

## Keywords

power system; Energy storage; Optimize configuration; Benefit analysis

# 电力系统储能优化配置及效益分析

刘殿礼

国网北京大兴供电公司，中国·北京 102600

## 摘要

基于全球推动能源转型的现实背景，以太阳能、风能为代表的可再生能源在电力系统中的装机容量和发电量占比逐步攀升。然而，可再生能源本身固有的间歇性、波动性和随机性，在一定程度上给电力系统的安全和稳定运行带来了严峻挑战。随着能源转型的加速，可再生能源在电力系统中的占比不断提高，储能技术作为关键的技术支撑，电力系统储能优化配置对于提升电力系统的稳定性、可靠性和经济性具有重要意义。本文深入探讨了电力系统储能优化配置的价值意义和基本要点，并对其效益进行了全面分析，以期通过科学合理的储能优化配置，改善电力系统性能，创造更加可观的经济效益和社会效益。

## 关键词

电力系统；储能；优化配置；效益分析

## 1 引言

储能技术本身是一种能够灵活调节电能的手段，恰当

**【作者简介】**刘殿礼（1977.11），男，汉，北京，本科，助理工程师，研究方向：电力系统储能优化配置及效益分析。本人1997年到大兴供电公司参加工作，先后参加农网改造一二期改造工作。工作中克服各种难题，修订技术工作标准，圆满完成各项改造任务。工作一直从事线路台区运维工作，整治编写各类运维隐患排查、事故处理典型经验，2016年获得技师技能等级。先后担任工作负责人、运维班长等工作。获得北京华商电灯有限公司先进工作者、三场重大活动供电保障先进个人、三场重大活动供电保障先进个人。

合理地应用储能技术，能够在电力供需不平衡时储存和释放能量，从而有效地平抑功率波动，从整体上提升电力系统的调节能力。近几年，伴随着储能技术的完善和广泛应用，其已逐渐发展成为构建新型电力系统和促进可再生能源消纳的关键支持。到今天，中国储能产业发展势头强劲，新型储能装机规模也在不断创造新高。在此形势下，深入地研究电力系统储能优化配置及效益分析，对于充分发挥储能价值，推动电力行业可持续发展具有深刻意义。<sup>[1]</sup>

## 2 电力系统储能优化配置的价值意义

### 2.1 有助于提升电力系统运行的稳定性

过去，传统的电力系统主要依靠同步发电机的惯性来维持频率稳定。近几年，伴随着可再生能源的大规模接入，电力系统中同步发电机占比有所下降，系统惯性减弱，频率

稳定性也因此面临着较大的风险。储能系统具有快速的功率响应能力，它能够在电网频率出现波动时迅速充放电，对频率偏差进行有效补偿。当电网频率下降时，储能系统可以实现快速放电，增加系统有功功率注入，从而有效的阻止频率进一步下降。而当频率上升时，储能系统又能够快速充电，吸收多余功率，稳定频率。储能系统的这一特性将能够有助于增强电力系统应对突发功率变化的能力，减少频率的波动幅度，达到维持系统稳定运行的效果。

## 2.2 有助于促进可再生能源消纳

可再生能源发电受自然条件的影响较大，发电功率存在的不确定性导致其可能无法完全按照计划并网发电，弃风、弃光现象也时有发生。储能系统可在可再生能源能够再发电过剩时储存电能，在发电不足和用电高峰时释放电能，达到“削峰填谷”的作用。储能系统能够很好地平滑可再生能源出力曲线，使其更接近负荷需求曲线，以此来有效提高可再生能源在电力系统中的消纳比例。尤其是在一些大型风电、光伏基地，通过合理配置储能系统，在新能源发电高峰期，能够将多余电量储存起来，并将这些电量在发电低谷期释放，以此有效的保障新能源稳定输出，提升新能源在电力系统中的可利用率。

## 2.3 有助于降低电力系统运行成本

从发电侧的角度进行分析，储能系统能够辅助火电机组进行深度调峰，减少火电机组因频繁启停或深度调峰带来的额外损耗和燃料成本。当负荷低谷时，储能系统充电，相应地能够减少火电机组发电出力，从而避免机组在低效区运行。在负荷高峰时，储能系统又可以通过放电，减轻火电机组的发电压力，提高火电机组整体的运行效率。从用户侧角度来看，用户能够利用储能系统在电价低谷时充电，电价高峰时放电，从而通过峰谷电价差套利，适当地节省自身的用电成本。对于电网企业而言，合理配置储能还能够有助于延缓、减少其对输配电设施的升级改造投资，提升电网运行的经济性，创造经济价值。<sup>[2]</sup>

# 3 电力系统储能优化配置的基本要点

## 3.1 储能技术选型

目前能够应用于电力系统的储能技术种类十分多样化，其中包括以锂电池、铅酸电池等为代表的电化学储能、诸如抽水蓄能、飞轮储能等的物理储能，以及以超级电容器储能为典型的电磁储能等。不同类型的储能技术在能量和功率密度、充放电效率、循环寿命、响应速度、建设与运行成本等各个方面特点不同，也各有优劣。具体而言，锂电池往往具有较高的能量密度和功率密度，它响应速度快，循环寿命长，因此广泛适用于对功率响应和能量存储要求较高的场景，比如电网调频、用户侧峰谷套利等；抽水蓄能技术更加成熟，容量较大，成本也相对较低，但是该技术的建设受地理条件

限制较大，相对而言更适用于大规模、长时间的能量存储和调峰场景；超级电容器储能功率密度高，响应速度极快，循环寿命长，但是它的能量密度较低，一般适用于短时间、高功率的功率补偿场景，比如用来改善电能质量、应对暂态功率冲击等场景。在进行储能优化配置时，需要相关单位根据电力系统的具体应用场景和技术要求，再综合考量经济指标等因素，在综合评估的基础之上，选择最适宜的储能技术或多种储能技术的组合。

## 3.2 储能容量配置

储能容量配置是储能优化配置的核心问题之一，容量大小将直接影响储能系统的性能和经济效益。容量配置需要综合考虑多方面因素：一是电力系统的负荷特性，包括日负荷曲线、峰谷差、负荷增长趋势等。在配置时，需要首先通过分析负荷特性，确定储能系统需要承担的功率和能量调节任务，以满足削峰填谷、保障供电可靠性等需求。二是可再生能源发电特性，包括发电功率的波动范围、预测误差、出力变化规律等。需要结合可再生能源发电特性，配置合适容量的储能系统，用于平抑功率波动、提高发电可预测性。三是储能系统自身的技术参数，比如充放电效率、自放电率、循环寿命，等等。这些参数会影响储能系统实际可用容量和运行成本，也需要在容量配置时予以充分考虑。最后则还要考虑经济性因素，如储能系统的投资成本、运行维护成本、参与电力市场的收益等。需要相关单位建立经济模型，以经济效益最大化或成本最小化为目标，通过优化算法求解出最优的储能容量。常用的储能容量配置方法有基于负荷跟踪的方法、基于优化算法的方法、基于经验公式的方法等，通常而言，基于优化算法的方法能够综合考虑多种约束条件和目标函数，更精确地确定最优储能容量。<sup>[3]</sup>

## 3.3 储能选址布局

储能选址布局对电力系统的影响同样至关重要，合理的选址将有助于提高储能系统的利用效率，增强其对系统的支撑作用，有效地降低输电损耗。在电源侧，储能选址通常需要结合新能源发电场站的地理位置、出力特性以及电网接入情况。对于集中式新能源发电基地，储能可以配置在新能源场站内部或附近，这样能够便于就地消纳多余电能，提升新能源发电的稳定性和可调度性。对于分布式新能源发电，储能可分散配置在各分布式电源附近，促进分布式能源的高效利用。在电网侧，储能选址应当充分考虑电网的薄弱环节、负荷分布、输电网络结构等相关因素。一般建议优先选择在负荷中心附近、电网阻塞区域或电压稳定性较差的节点，以此来缓解电网供电压力、改善电压质量、减少输电损耗。在用户侧，储能选址则主要依据用户的用电需求和用电特性，例如工商业用户可将储能配置在工厂或商业建筑内部，可以利用峰谷电价差降低用电成本，同时还可以在电网故障时提供备用电源，以此保障重要负荷用电。

## 4 电力系统储能优化配置的效益分析

### 4.1 经济效益

#### 4.1.1 参与电力市场收益

在电力市场环境下，储能系统可以通过参与电能市场、辅助服务市场等方式来获取经济收益。在电能市场中，储能系统可以利用峰谷电价差进行套利。例如，在电价低谷时段充电，在电价高峰时段放电，从而可以将低价电转换为高价电出售，从中获取差价收益。在辅助服务市场中，储能系统能够为电力系统提供调频、调峰、备用等多种辅助服务并获得相应补偿。以调频服务为例，储能系统能够凭借快速的响应速度和精确的调节能力，有效地跟踪电网频率变化，为其提供高质量的调频服务，并能够根据提供的调频里程或调频容量来获得补偿收益。据相关案例分析，某 50MWh 独立储能项目，在调峰补偿 1 元 /kWh、年调用 500 次的情况下，内部收益率可达 9.7%。

#### 4.1.2 节省发电成本

对于火电企业而言，储能系统能够辅助火电机组进行深度调峰，有效地减少火电机组频繁启停次数，降低设备损耗和维护成本，同时还能够提高火电机组在部分负荷工况下的运行效率，降低燃料消耗成本。对于一些可再生能源发电企业，通过合理地配置储能系统，将有助于提高可再生能源发电的稳定性和可预测性，减少因发电波动导致的弃电损失，增加发电收益。此外，储能系统还可帮助可再生能源发电企业更好地参与电力市场竞争，提升企业经济效益。

#### 4.1.3 延缓电网投资

伴随着中国电力需求的增长和可再生能源的大规模接入，电网面临着升级改造的压力。合理配置储能系统将能够在一定程度上延缓或减少对输电线路、变电站等电网设施的投资。对于负荷增长较快的区域，通过配置储能系统进行削峰填谷，从而有效降低该区域的峰值负荷需求，延缓其对输电线路扩容或新建变电站的需求。在电网阻塞区域，利用储能系统在负荷低谷时存储电能，在高峰时释放，可以用来缓解输电线路的阻塞情况，以此能够减少对电网改造的投资。

### 4.2 社会效益

#### 4.2.1 提高供电的可靠性

储能系统可以作为备用电源，在电网故障、停电时为重要用户和关键负荷提供电力保障，以此来缩短停电时间、减小停电范围，提高社会整体供电可靠性。尤其是对于医院、

金融机构、交通枢纽等单位，这类单位具有社会公益性，对供电可靠性要求极高，停影响巨大，储能系统的备用电源功能尤为重要，合理的储能配置能够避免因停电造成重大损失和社会影响。

#### 4.2.2 促进能源可持续发展

储能技术的广泛应用将有助于大规模可再生能源的接入和消纳，减少其对传统化石能源的依赖，有效地降低碳排放，有利于推动中国能源结构向清洁、低碳、可持续方向转型。这对于应对全球气候变化、实现“双碳”目标具有重要意义，符合国家可持续发展战略和社会绿色可持续长远发展的需要。

#### 4.2.3 改善电能质量

储能系统能够快速响应电网电压和频率的变化，对电能质量进行有效调节。储能系统可以通过抑制电压波动、闪变，补偿无功功率，有效地改善谐波污染等，为用户提供更加稳定、优质的电能，提高用电设备的运行效率和使用寿命，减少因电能质量问题导致的设备损坏和生产损失，为社会生产生活的正常进行提供良好的保障支持。

## 5 结语

电力系统储能优化配置在提升电力系统稳定性、促进可再生能源消纳、降低运行成本等方面具有不可替代的价值意义。本文从储能技术选型、容量配置和选址布局等方面，对电力系统储能优化配置的基本要点进行了阐述。在此基础上，本文进行了电力系统储能优化配置的效益分析，储能优化配置不仅能为相关市场主体带来显著的经济效益，还能产生巨大的社会效益，对推动能源转型、保障能源安全、促进社会可持续发展起到关键的支撑作用。

## 参考文献

- [1] 陈云瑶,陈玉州,加央拉姆,张清渊,郑子萱,姜山,李杰,熊思源.兼顾保供与消纳的高比例清洁能源系统储能优化配置运行策略[J].储能科学与技术,2025,14(05):2043-2056.
- [2] 彭穗,龚贤夫,刘新苗,卢洵,吴云芸,薛熙臻,周博,艾小猛.计及直流调节能力的含风电电力系统储能优化配置[J].中国电力,2022,55(01):37-45.
- [3] 张德隆,MUBAARAK Saif,蒋思宇,王龙泽,刘金鑫,陈永聪,李美成.基于概率潮流的光伏电站中储能系统的优化配置方法[J].储能科学与技术,2021,10(06):2244-2251.

# Research on the correlation between pressure and fracture development in hydraulic fracturing technology

Guangning Liang<sup>1,2</sup> Bin Wang<sup>3,4,5</sup> Wencheng Li<sup>1,2</sup> Long Guo<sup>5</sup> Yuanwu Li<sup>1,2</sup>

1. National Energy Group Wuhai Energy Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

2. Guoneng Wuhai Energy Huangbaizi Mining Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

3. Tiandi Technology Co., Ltd., Beijing, 100013, China

4. China Coal Mining Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100013, China

5. China Coal Technology (Xi'an) Mining Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

## Abstract

In the implementation process of hydraulic fracturing technology for hard coal seam roof, the duration of single fracturing is about 1 hour, and the water pressure curve of the fracturing section fluctuates significantly. The water pressure curve is divided into three stages: pressurization, fracturing, and continuous pressure. The development of rock fractures around the fracturing section varies in different stages. To determine the correlation between pressure and crack development during hydraulic fracturing, numerical simulation was used to analyze the crack development radius at different time periods. Based on the least squares method, the pressure data and crack development radius were fitted to determine the empirical formula for pressure and crack development radius during hydraulic fracturing of the roof of Huangbaizi Coal Mine. The research results have certain guiding significance for the selection of hydraulic fracturing parameters in this mine and adjacent mines.

## Keywords

hydraulic fracturing; Pressure curve; Fracturing radius; Empirical formula;

# 水力压裂技术压力与裂隙发育相关性研究

梁广宁<sup>1,2</sup> 王滨<sup>3,4,5\*</sup> 李文成<sup>1,2</sup> 郭龙<sup>5</sup> 李元武<sup>1,2</sup>

1. 国家能源集团乌海能源有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000

2. 国能乌海能源黄白茨矿业有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000

3. 天地科技股份有限公司, 中国·北京 100013

4. 中煤科工开采研究院有限公司, 中国·北京 100013

5. 中煤科工(西安)开采工程技术有限公司, 中国·陕西 西安 710000

## 摘要

煤层坚硬顶板水力压裂技术实施过程中, 单段压裂持续时间约1h, 压裂段水压曲线波动明显, 水压曲线分为加压、起裂、持续给压三个阶段, 不同阶段压裂段周边岩层裂隙发育情况不同。为确定水力压裂过程中压力与裂纹发育相关性, 采用数值模拟分析不同时段裂隙发育半径, 基于最小二乘法对压力数据和裂隙发育半径进行拟合, 确定黄白茨煤矿顶板水力压裂过程中压力和裂隙发育半径经验公式, 研究成果对于本矿井及邻近矿井水力压裂参数选择具有一定指导意义。

## 关键词

水力压裂; 压力曲线; 压裂半径; 经验公式;

## 1 引言

水力压裂技术主要采用高压水作为介质, 对固体介质进行破碎的一种工艺。煤矿生产过程中, 伴有瓦斯、顶板、火灾等灾害, 煤层上覆岩层存在坚硬顶板引起采面无法正常垮落时会引发顶板事故, 坚硬顶板弱化技术有效性直接关系安全生产。水作为水力压裂技术实施的介质, 不仅仅可以有效控制坚硬顶板, 同时对矿井局部火灾具有预防作用, 因此该技术在矿井顶板灾害治理过程中具有更强适用性。水力压裂技术实施过程中, 关键参数为压裂半径的选择, 由于不同

**【基金项目】**国家能源集团乌海能源有限责任公司科技项目《近距离煤层群沿空留巷条件坚硬顶板多维卸压关键技术研究与应用》资助(项目编号: WHNY-KX-23-24)。

**【作者简介】**梁广宁(1980-), 男, 中国山东泰安人, 硕士, 工程师, 从事煤矿安全、生产研究。

**【通讯作者】**王滨(1987-), 男, 中国山东东平人, 硕士, 高级工程师, 从事煤层顶板岩层压裂的工程及科学的研究。

水压对不同岩体的压裂效果存在差异性，因此进行相关研究是十分必要的。关于水力压裂技术机理及应用问题，我国专家学者进行了大量研究，李全贵、王明杰、余旭等进行了脉动水力压裂扩展特征试验研究，提出脉冲高压水控制裂缝工艺，取得良好效果<sup>[1]</sup>。贾猛提出新型水力压裂技术，提出高压水控压水力压裂技术，针对不同岩层、埋深及相关地质条件进行水力压裂措施优化，取得良好效果<sup>[2]</sup>。刘宗柱提出水力压裂技术在综放工作面初次放顶中应用研究，主要采用短孔压裂技术实施，取得良好效果<sup>[3]</sup>。其他专家学者针对水力压裂工艺进行了相关研究，分别取得一定成果。黄白茨煤矿 0213<sup>±2</sup>02 综采工作面受上部邻近采面采空区和上覆坚硬顶板影响，导致采面巷道变形严重，现采用水力压裂技术进行综合治理，为确保压裂参数有效性，进行水压与裂隙发育相关性研究。

## 2 工程概况

黄白茨煤矿 0213<sup>±2</sup>02 综采工作面位于 13<sup>±2</sup> 煤层，上部为 12 煤层，两层煤平均距离 14.38m。上部采面 1201 工作面已回采完毕，形成采空区，两个回采工作面空间关系如

图 1 所示。

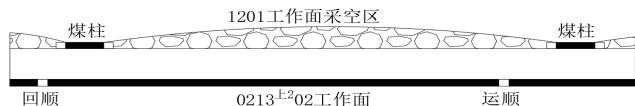


图 1 0213<sup>±2</sup>02 工作面近距离煤层剖面图

目前 0213<sup>±2</sup>02 综采工作面受临近采空区和上覆顶板坚硬岩层活动影响，形成强矿压，采面回风巷和胶带巷超前应力集中、巷道变形较大，严重制约工作面安全生产。为控制巷道变形，采用水力压裂技术对坚硬顶板进行弱化处理，控制巷道围岩应力集中现象。煤层柱状图如图 2 所示，根据关键层理论计算，关键层为上部砂质页岩层。压裂设备为 BYW80/450 型压裂泵组，最大压裂达到 60MPa，具备一键启停功能。

## 3 水力压裂裂纹发育模拟研究

### 3.1 模拟参数

现场取岩石样本，取样 3 个，进行力学参数测试，测得顶板管关键层岩层力学参数如表 1 所示。

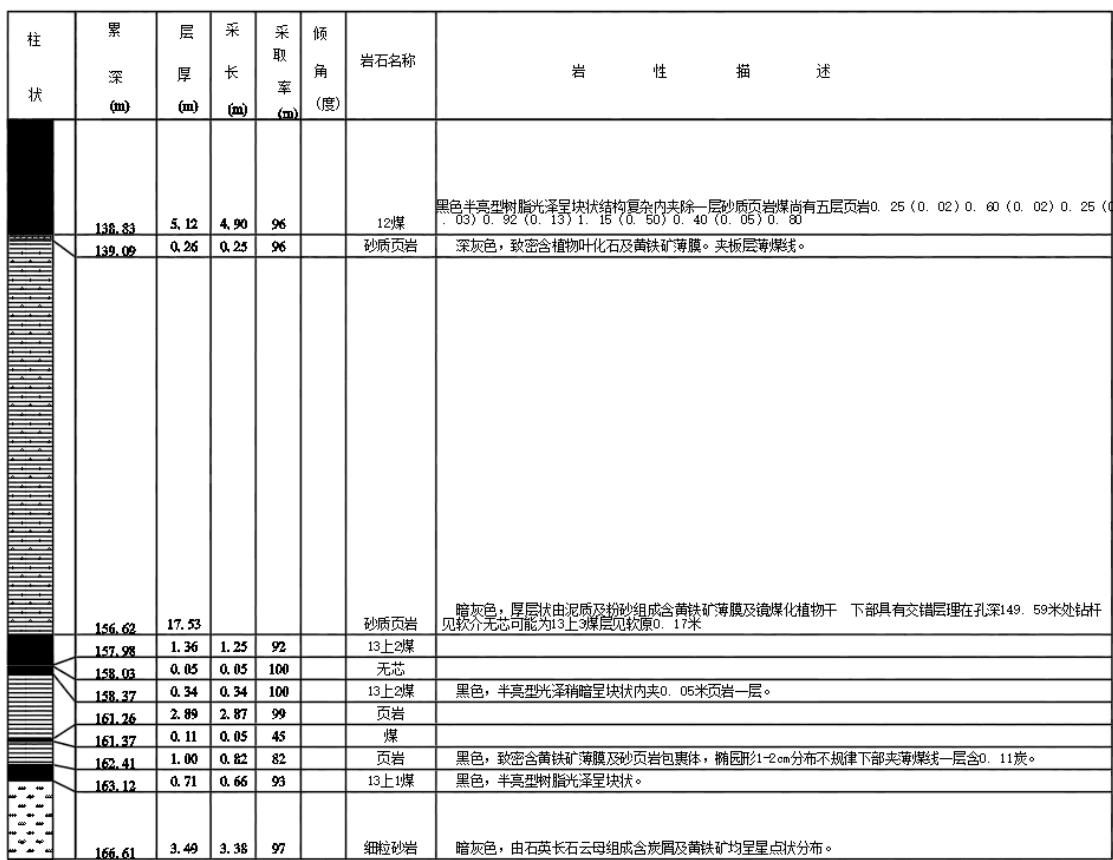


图 2 煤层柱状图

表 1 力学参数表

岩性	密度 kg/m <sup>3</sup>	单轴抗压强度 /MPa	弹性模量 /GPa	泊松比	粘聚力 /MPa	内摩擦角
砂质页岩	2801.62	23.72	71.5	1.91	3.02	26.62

### 3.2 数值模拟

采用耦合模拟软件 COMSOL Multiphysics 进行模拟研究。COMSOL Multiphysics 是一款多场耦合模拟软件，软件基于有限元理论，满足固体力学、流体力学、热力学以及多场耦合模拟要求。水力压裂技术主要采用水作为介质进行压裂，涉及流 - 固耦合理论，选用软件内流 - 固耦合模型进行数值模拟。假设流体产生的应力自由边界，压裂的岩体为均匀介质，压裂水为均匀介质，初设压裂 26MPa，钻孔直径  $\phi 120\text{mm}$ 。模型为瞬态模型，模拟周期 60min，步长 10min。建立的几何模型如图 3 所示。

岩层水力压裂过程中，裂隙初始状态向水平方向发育深度较大，在竖直方向发育比较小，由于岩层为沉积岩，不同岩层之间存在分层，因此水平方向裂隙发育更快，随着水力压裂工序持续进行，压裂孔周边裂隙不断发育。分析可知，压裂 10min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 20%，初始压裂较大，裂隙发育至 20m 位置开始逐步闭合，不再向外扩展；压裂 20min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 25%，裂隙发育至 35m 位置开始逐步闭合；压裂 30min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 25%，裂隙发育至 36m 位置开始逐步闭合；压裂 40min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 25%，裂隙发育至 40m 位置开始逐步闭合；压裂 50min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 25%，裂隙发育至 40m 位置开始逐步闭合；压裂 60min 时，钻孔周边孔隙率最大值为 25%，裂隙发育至 40m 位置开始逐步闭合。综合分析，水力压裂工序保压 26MPa 时，钻孔水平方向压裂半径预测为 40m，40m 范围之外裂隙不再变化，随着保压时间持续，60min 之内钻孔周边裂隙不断发育区间主要为 10-40m 之间。

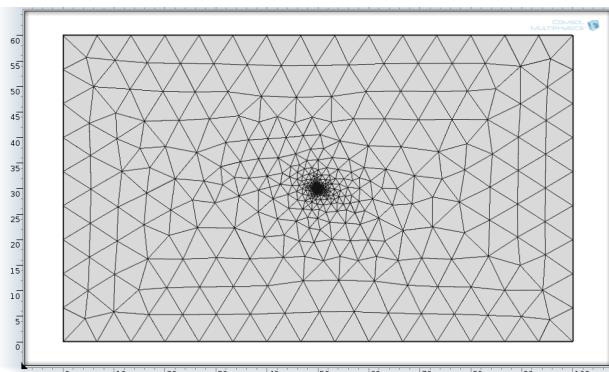


图 3 几何模型

### 4 压裂曲线与裂纹发育相关性分析

为进一步分析压裂曲线与裂纹发育相关性，对现场 1h

内水力压裂实施时的压裂曲线进行统计分析。黄白茨煤矿 0213 上 202 综采工作面上部施工 1# 钻孔深度 558m，压裂间距 21m。压裂的前 6 段压裂曲线、流量统计结果。

拟合公式如下：

$$\begin{aligned} 10\text{min: } y &= -50 + 3x \\ 20\text{min: } y &= -61 + 4.3x \\ 30\text{min: } y &= -80 + 5.5x \\ 40\text{min: } y &= -102 + 7x \\ 50\text{min: } y &= -65 + 4x \\ 60\text{min: } y &= -165 + 10.35x \end{aligned}$$

式中：x——水压，MPa

y——孔隙率，%

综合分析，孔隙率随着水压增大而增大，随着时间推移，斜率呈增大趋势。水压越大，裂隙发育越明显。

### 5 结语

为治理黄白茨煤矿 0213 上 202 综采工作面坚硬顶板引发的次生灾害，采用水力压裂工艺对该工作面坚硬顶板进行压裂，采用数值模拟研究确定上覆岩层坚硬顶板压裂半径，实施水力压裂工艺，对压裂时水压和压裂半径进行拟合分析，确定压裂经验公式，得到以下结论：

(1) 采用数值模拟研究可知，0213 上 202 综采工作面上覆坚硬顶板水平方向压裂半径较大，预测 60min 压裂半径为 40m；

(2) 对 0213 上 202 综采工作面上覆坚硬顶板施工的 6 段压裂参数进行统计，综合分析可知，压裂时压力呈波动性，波动过程中伴生裂隙发育；

(3) 通过对不同时间段水压和裂隙发育参数进行拟合分析可知，随着压裂增大，裂隙扩散越快，对应的经验公式斜率不断增大。

综合分析，通过数值模拟研究确定了 0213 上 202 综采工作面上覆岩层不同时间段压裂半径，通过对比现场压裂曲线，得到压力 - 裂隙经验公式，研究成果和研究方法对于其他矿井水力压裂工艺实施具有一定指导意义。

### 参考文献

- [1] 李全贵,王明杰,余旭,等.流量控制式脉动水力压裂裂缝扩展特征试验研究[J].煤炭科学技术,2025,53(02):178-189.
- [2] 贾猛.郭庄矿井下新型水力压裂技术的应用分析[J].山东煤炭科技,2023,41(08):188-190.
- [3] 刘宗柱.水力压裂在综放工作面初采初放期间的应用[J].煤,2024,33(05):62-64.

# Application of bio-technological methods in food testing

Hongmei Liu

Food and Drug Inspection Institute, First Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Alar, Xinjiang, 843300, China

## Abstract

Food safety constitutes a critical issue concerning public health and social stability. As the cornerstone of food safety assurance, food testing directly depends on technical capabilities in terms of both accuracy and efficiency. This systematic theoretical exploration examines the application of biological detection technologies in food inspection, beginning with fundamental principles and classifications. The study categorizes these technologies into molecular biology techniques, immunoassay methods, and biosensor systems. It thoroughly analyzes their operational mechanisms and advantages in detecting food contaminants, microbial contamination, compositional analysis, and counterfeit identification. The research also identifies existing limitations in biological detection applications and explores future development trends.

## Keywords

biological detection technology; food detection; food safety; molecular biology; immune detection

# 生物检测技术在食品检测中的应用研究

刘红梅

新疆生产建设兵团第一师食品药品检验所，中国·新疆阿拉尔 843300

## 摘要

食品安全属于关系公众健康与社会稳定的重要议题范畴，作为保障食品安全的关键一环是食品检测，检测结果的精准程度和效率表现，直接受其技术水平牵制。从理论高度，系统探究生物检测技术在食品检测领域的应用情形，一开始便阐述生物检测技术基本原理以及分类，涉及到分子生物学技术、免疫检测技术以及生物传感器技术等类别；认真剖析各类技术在食品污染物检测、微生物检测、成分分析和掺假鉴别等方面应用的机制与长处表现；分析生物检测技术应用存在的不足及探究后续发展趋向。

## 关键词

生物检测技术；食品检测；食品安全；分子生物学；免疫检测

## 1 引言

食品作为人类存续与进步的根本物质支撑，其安全性直接牵扯到人体健康水平，甚至对公共卫生安全造成影响。伴随食品工业迅猛发展，食品从生产、加工到流通的环节日益繁复，食品安全风险因子增多，像农药残留、兽药肆意滥用、微生物污染现象、非法添加剂投入、食品掺假等问题屡见不鲜。使传统食品检测技术面临严峻挑战，如化学分析法、仪器分析法等传统检测手段，曾在特定阶段起到关键作用，只是具备操作繁杂琐碎、检测周期拖得长、灵敏度不太好、依赖大型仪器等毛病，难以符合现代食品安全迅速、精准检测的诉求。本文试图从理论维度系统厘清生物检测技术的种类、应用原理及发展态势，为推动食品检测技术增进与食品安全保障体系健全给予借鉴。

【作者简介】刘红梅（1985-），女，中国河南罗山人，本科，实验师，从事食品药品检验研究。

## 2 生物检测技术的基本原理与分类

### 2.1 分子生物学技术

分子生物学技术把核酸（DNA 或者 RNA）当作检测对象，依靠核酸分子特异性识别和扩增这一原理，实现对目标物质的甄别检测。核心原理是借助碱基互补配对这一原则，采用设计特异性引物以及探针的方式，跟目标核酸序列形成结合，接着借助扩增、杂交等手段把信号增强，借此实现微量核酸的测定工作。

常见分子生物学技术涉及聚合酶链式反应（PCR）、基因芯片、环介导等温扩增（LAMP）等相关技术，PCR 技术凭借变性、退火、延伸的循环运转，实现特定 DNA 片段在体外的快速扩增，呈现出灵敏度高且特异性强的特质，可检测食品中的病原体（如沙门氏菌、大肠杆菌等菌属）、转基因成分以及物种源性掺假现象，基因芯片技术可把大量探针安置于芯片表面<sup>[1]</sup>。

## 2.2 免疫检测技术

免疫检测技术以抗原与抗体特异性结合反应为基础，借助于标记物（像酶、荧光体、胶体金等）把结合信号转化为能检测到的物理或化学信号，实现对目标物质定性或定量的鉴别测定。核心原理为借助免疫系统里抗原和抗体具备的高度特异性识别本领，就算是面对复杂的食品基质，也能精准揪取目标分析物。

酶联免疫吸附测定（ELISA）算得上较为常用的免疫检测技术，凭借把抗原、抗体固定到固相载体的途径，借助酶催化底物所产生的显色强度反映目标物质含量，在食品的农药残留（诸如有机磷、拟除虫菊酯）、兽药残留（像抗生素、激素）和霉菌毒素（如黄曲霉毒素）检测方面应用广泛。抗体经胶体金免疫层析技术固定在试纸条里面，经由胶体金颗粒的显色反应达成快速的定性检测，存有操作便利、结果直观的长处，适合现场开展快速筛查活动。

## 2.3 生物传感器技术

生物传感器技术把生物识别元件（像酶、抗体、核酸、微生物等）跟物理化学换能器（如电极、光学器件、压电晶体等）相融合，把生物识别信号转变为可量化的电、光、声这几类信号的检测途径。其关键优势为可达成对目标物质的实时在线检测，而且响应速度较为快速，操作简单易行<sup>[2]</sup>。

根据 transducer 类型，生物传感器可归为电化学生物传感器、光学生物传感器、压电生物传感器等范畴。电化学生物传感器利用生物识别反应引起的电极电位、电流方面的变化达成检测目的，如借助酶电极的葡萄糖传感器，可开展食品中糖类含量的检测，基于免疫电极设计的传感器可开展兽药残留的测定。

## 2.4 微生物检测技术

微生物检测技术主要针对食品当中的致病微生物（比如金黄色葡萄球菌、李斯特菌）、腐败菌以及益生菌等实施检测，该原理依托微生物生理特性（像代谢产物、生长特性）或遗传物质特异性。传统培养法虽精准但耗时偏久，现代微生物检测技术采用与分子生物学或免疫学方法相结合的方式，极大增进了检测速率。

ATP 生物发光技术是一种快速微生物检测方法，依靠荧光素酶对 ATP 和荧光素反应进行催化所产生的发光强度，反映出微生物数量，适用于开展食品加工环境卫生状况的监测。聚合酶链式反应 - 变性梯度凝胶电泳（PCR - DGGE）技术借助于分离不同微生物的 16S rRNA 基因片段达成操作，分析食品里微生物群落的结构体系，用以对食品腐败机制及保鲜效果加以评估<sup>[3]</sup>。

# 3 生物检测技术在食品检测中的应用领域

## 3.1 污染物检测

进行农药残留检测的阶段，ELISA 技术依靠抗原与抗体呈现出的高度特异性结合，作为蔬菜、水果里有机磷、氨基

甲酸酯类农药检测的主流方式。例如，针对蔬菜中常见的毒死蜱农药，ELISA 检测试剂盒可实现的最低检测水平为 0.1ng/mL，每一次可处理多达 96 个样本，极大增进了检测效率。在实际运用场景里，即便样本中出现了多种干扰物质情形。该技术仍旧可以精准鉴别目标农药，为农产品入市前安全筛查提供可靠后盾，涉及到兽药残留检测，胶体金免疫层析技术借由快速便利的长处，在肉类监管进程中展现关键作用。对于猪肉中磺胺类药物检测一事举例，检测试纸条借助胶体金颗粒标记抗体与磺胺类药物特异性结合，10 到 15 分钟便可显示检测结果，基层监管人员不借助专业培训也能实施操作，切实控制了抗生素滥用情形。在重金属检测这个范畴，依靠核酸适配体的电化学传感器展示出卓越成效，好比在开展大米中镉离子检测之际，适配体与镉离子特异性结合会造成电极表面电荷的变动，凭借电化学信号实现转换，可实现低至 0.5ppb 的检测限，而且不受大米里像淀粉、蛋白质这类基质的干扰，为粮食安全检测供给了可信途径<sup>[4]</sup>。

## 3.2 微生物检测

PCR 技术借助对目标微生物特定基因片段实施体外扩增，实现对致病菌高灵敏度的检测工作。以沙门氏菌检测一事为例，以其 invA 基因为靶点设计出的引物，能在 4 小时把微量 DNA 扩增达到可检测水平，纵使样本里仅有 5 个存活菌，也可精准探测到，能利用不同引物组合区分伤寒沙门氏菌、肠炎沙门氏菌等不同血清型，为疫情溯源给予关键证据。ATP 生物发光技术在食品加工环境检测领域应用极为普遍，若开展乳制品车间设备表面的检测工作，只需擦拭样本完成取样，再加入荧光素酶试剂，1 分钟之内，可凭借发光强度判别微生物污染程度，数值超出 100RLU，说明卫生情况存在潜在隐患，便于快速实施清洁与消毒行动。基因芯片技术实现了针对致病菌的高流量检测，某食品企业借助含 100 种致病菌特异性探针的芯片，可同时对肉类样本中的，如李斯特菌、志贺氏菌、金黄色葡萄球菌等 10 余种致病菌进行筛选鉴定，检测时间经缩短后为 6 小时，比起传统培养法的 48 小时，时间利用效率大幅提高，极大提升了企业质量把控效率。

## 3.3 食品成分分析

在转基因食品检测领域，实时荧光 PCR 技术靠荧光信号的不断累积实时监测扩增过程，于检测转基因大豆内 CaMV 35S 启动子之际，可实现对 0.1% 转基因成分含量的定量测定，恰好符合欧盟 0.9% 标识阈值界限。此技术可精准辨别转基因与非转基因产品，还可借助标准曲线求出具体含量，为国际贸易里转基因监管供应技术支撑力。在食品过敏原检测的阶段，SPR 生物传感器在无标记物情形中，可实时开展抗原 - 抗体结合过程监测，检测牛奶内的  $\beta$  - 乳球蛋白的当口，响应的时间仅 10 分钟而已，检测的极限低至 0.1  $\mu$ g/kg，即便食品受高温加工影响蛋白变性，依旧可凭借特异性抗体实现识别，切实阻止过敏人群误食行为。对于营

养成分分析，采用近红外光谱和葡萄糖氧化酶传感器的联用手段，可在3分钟里完成对蜂蜜内葡萄糖含量的测定事宜，无需做样品前期处理，此检测的误差小于2%界限，为食品营养标签的迅速查核提供高效的途径<sup>[5]</sup>。

### 3.4 食品掺假检测

在实施肉类掺假检测之际，PCR技术针对各异物种的线粒体细胞色素b基因去设计特异性引物，可精准辨别牛肉、猪肉、羊肉等肉质。例如，在标注“纯羊肉”的样本里，哪怕添入1%的猪肉组分，该技术能借助对猪肉特有的基因片段的扩增来检出，切实抑制低价肉充作高价肉现象。蜂蜜掺假检测中，稳定同位素比值质谱跟蔗糖酶传感器联合起来，大幅提高了检测的精准度：前者经由分析蜂蜜里的碳同位素比值( $\delta^{13}\text{C}$ )，确定是否添加了C4植物所来源的玉米糖浆，后者依靠检测蔗糖酶活性识别有无蔗糖添加，两种技术的结合使掺假识别率上升至98%以上。当进行乳制品掺假查证过程里，ELISA技术借助检测乳清蛋白里的 $\alpha$ -乳白蛋白特异性抗体，可判断牛奶是否掺入了大豆蛋白或乳清粉，其最低能检测到的限度是0.5%，为乳制品纯度判定提供了可靠途径，保证消费者对产品信息的知情权不被侵犯。

## 4 生物检测技术的局限性与发展趋势

### 4.1 现存局限性

即便生物检测技术在食品检测方面优势相当突出，只是还存在一定的局限性。部分技术（以基因芯片、SPR传感器为例）成本超出一般水平，设备及试剂售价高昂，难以在中小型食品企业以及基层检测机构得到推广普及。技术稳定性受食品基质的影响程度十分可观，诸如油脂、色素、蛋白质这类复杂基质，或许会对抗原-抗体结合或核酸扩增造成干扰，引起检测结果为假阳性或假阴性现象，要依靠样品前处理（如净化、浓缩）来优化，只是会增加操作的繁杂度。

此外，部分快速检测技术（以胶体金试纸条为例）定量精准度不够理想，仅适合进行筛查，要联合仪器分析（像液相色谱-质谱之类）开展确证。针对微生物实施检测期间，死菌、活菌的区分难题尚未突破，ATP生物发光技术或因非微生物源ATP（像食品残渣）使结果呈偏高态势，新型污染物（如纳米材料、未知毒素）检测方法开发的进程滞后，现有的生物识别元件特异性未达要求，无法契合检测要求<sup>[6]</sup>。

### 4.2 未来发展趋势

未来生物检测技术的演进方向是高灵敏度、强特异性，

走向快速、微型与智能。多技术联合运用是关键趋向，把免疫磁珠分离（来富集目标物质）与PCR（去扩增信号）搭配在一起，能让低浓度污染物的检出比率上升；实现生物传感器与智能手机的结合，利用手机APP对检测到的信号做分析，实现可携带实地检测功能，缓解对专业设备的依赖压力。

借助纳米技术的融合，可进一步增进检测性能，诸如纳米金、量子点等纳米材料充当标记物，能增强荧光以及电化学的相关信号，增进检测的灵敏度；纳米孔测序技术可不借助PCR扩增，直接开展DNA序列的读取工作，或许能实现单分子水平上的病原体检测。人工智能与大数据的应用也可推动食品检测步入智能化阶段，采用机器学习优化检测用模型，探究海量检测数据内涵，实现食品安全风险的精细预警。

## 5 结语

生物检测技术依仗高特异性、高灵敏度、既快速又高效等长处，已成为食品检测方面的核心支撑性手段，在污染物测定、微生物探查、成分分析和掺假判别等方面发挥着不可替代效能。分子生物学、免疫检测、生物传感器及微生物检测等技术各具特性，各自对应不同的检测情形，共同搭建起多维度的食品安全检测格局，当下生物检测技术依旧存在成本偏高、基质干扰以及定量精准度欠佳等状况，限制其应用的进一步发展。未来，凭借多技术联合实施、纳米材料融合、人工智能赋能及样品前处理技术提升，生物检测技术将做到更精准、快速、便利的检测实现，为食品安全监管提供更坚实的技术后盾。

### 参考文献

- [1] 贾子健.食品检测中现代生物技术的应用研究[J].食品安全导刊,2025,(21):147-150.
- [2] 孙小晶.农药残留检测技术在食品检测中的应用[J].食品安全导刊,2025,(21):138-140.
- [3] 袁青.食品检测技术在农产品质量检测中的应用探讨[J].农业开发与装备,2025,(07):143-145.
- [4] 葛玲.PCR技术在食品工程安全检测中的应用研究[J].现代食品,2025,(10):176-178.
- [5] 黄平,张现童,裴锋,王焕芹.现代分析技术在食品添加剂检测中的应用[J].食品安全导刊,2025,(15):125-127.
- [6] 王焕芹,裴锋,黄平,张现童.食品检测技术在提升食品安全中的应用与展望[J].食品安全导刊,2025,(14):154-156.

# Research on the Visibility Adaptive On Control Strategy of Automatic Auto Fog Light

Zhengqing Zhao

Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511434, China

## Abstract

Low visibility during foggy weather is a significant contributing factor to traffic accidents, making the development of an intelligent fog light control system with environmental self-sensing capabilities imperative. This study investigates a visibility perception model based on image contrast and multi-source sensor fusion, designs adaptive fog light activation strategies tailored to driving conditions and environmental levels, and establishes a real vehicle testing platform for performance evaluation under various operating scenarios. The research findings demonstrate the system's response accuracy and control reliability in complex meteorological conditions, providing technical support for enhancing fog driving safety and vehicle intelligent lighting control systems.

## Keywords

Automatic fog lights; Visibility perception; Control strategy; Multi-source sensing; Adaptive activation/stop

# 汽车自动雾灯的能见度自适应开启控制策略研究

赵正卿

广州汽车集团股份有限公司，中国·广东广州 511434

## 摘要

雾天低能见度是引发交通事故的重要诱因，亟需构建具备环境自感知能力的智能雾灯控制系统。文章研究了基于图像对比度与多源传感融合的能见度感知模型，设计了面向行驶状态与环境等级的自适应雾灯开启控制策略，构建了实车测试平台并完成不同工况下的性能评估。研究结果验证了系统在复杂气象条件下的响应精度与控制可靠性，为提升雾天行车安全与车辆智能照明控制水平提供了技术支撑。

## 关键词

自动雾灯；能见度感知；控制策略；多源传感；自适应启停

## 1 引言

在雾霾、高温或光照弱的道路环境中，能见度骤降直接影响驾驶员的视距判断与反应时间，成为诱发交通事故的重要因素，传统雾灯控制方式多依赖人工干预或固定逻辑触发，难以实现对复杂环境变化的快速响应。为提升车辆照明系统对环境的适应能力，构建具备能见度自感知与雾灯自主决策功能的控制系统成为技术发展的关键路径。文章基于图像对比度与红外光强信号构建能见度估算模型，引入多源传感器融合策略提升识别准确性，构建响应车速、灯光状态与天气等级的自适应控制逻辑，设计实车测试方案对系统响应时效与误判率进行多工况验证，旨在实现雾灯控制的精细化、智能化调度，为车辆在低能见度条件下提供更安全、稳定的照明支持。

【作者简介】赵正卿（1987-），女，中国云南人，硕士，工程师，从事控制科学与控制工程研究。

## 2 能见度感知模型构建

### 2.1 图像对比度识别模型开发

基于车辆前向摄像头采集的视频图像，提取连续帧中目标区域的灰度信息，构建对比度识别模型以判断图像清晰度并间接估算环境能见度。选用 Michelson 对比度公式衡量图像灰度差异，公式为：

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

其中  $I_{\max}$  与  $I_{\min}$  分别表示图像局部区域的最大与最小亮度值， $C$  为该区域的灰度对比度值。在雾霾条件下，图像灰度分布趋于平均， $C$  值明显下降，系统依据连续帧中对比度变化趋势与数值下限设定能见度识别阈值。对图像进行网格划分后选取特定区域计算多个局部对比度值，取加权平均作为全帧对比度指标，有效降低边界反光干扰影响。经实测标定将对比度值映射为对应能见度区间，构建雾灯控制策略的输入规则，满足低延迟、低误判要求，支持复杂天气条件下的快速识别与响应。

## 2.2 红外与光照强度联合感知机制

红外传感器用于捕捉车辆前方物体的热辐射变化，能有效感知在低照度、轻雾等可视边界模糊环境下的障碍物轮廓信息，环境光强传感器实时获取自然光照水平变化趋势，二者构成能见度识别的辅助通道<sup>[1]</sup>。系统设定红外感应灵敏区间与光照强度动态阈值，在弱光和晨昏条件下增加红外通道数据权重，在强光或反光干扰环境中提升光照通道抑制能力。联合感知结果用于修正图像识别模块输出的灰度对比值，避免摄像头在强逆光、远光干扰等场景下出现误判，提升能见度判断在多气象、多时段条件下的稳定性。整体机制可实现不同来源感知数据的交叉验证，增强自适应控制策略的输入精度。

## 3 雾灯自适应控制策略设计

### 3.1 雾灯控制阈值分级设定

基于能见度感知模型的实时输出结果，系统将能见度范围划分为多个控制等级，分别对应不同的雾灯工作状态，形成明确的启闭触发逻辑[2]。分级设定以交通法规推荐能见度界值为参考基础，并结合车辆测试数据动态校准具体阈值，实现响应策略的可调节性与分布式控制特性。各级控制状态定义如下：

- (1) 能见度大于 200 米，系统不启用雾灯，仅保留标准近光照明；
- (2) 能见度处于 100 米至 200 米之间，系统预设前雾灯开启，后雾灯关闭状态，用于中轻雾条件下提升辨识度；
- (3) 能见度处于 50 米至 100 米区间，系统同时启用前后雾灯，并锁定自动熄灭功能，防止误关；
- (4) 能见度低于 50 米，触发强制前后雾灯开启并向车载通信模块发送警告信号，提示驾驶员前方环境高度风险；
- (5) 感知系统判断能见度连续恢复超过设定周期，逐级释放雾灯状态直至恢复关闭模式。

等级判定采用 hysteresis 控制结构，在边界值附近引入上下限滞后区间，避免频繁切换导致控制抖动，保障雾灯控制稳定性与系统响应流畅性。

### 3.2 行车状态触发条件设置

为满足不同驾驶场景对雾灯控制响应条件的差异需求，系统需对车速、档位、灯光状态等动态参数进行状态感知与逻辑联动设定。低速行驶状态下雾灯使用频率高，系统自动降低能见度触发阈值，提高早期干预能力；在高速状态下控制逻辑延迟窗口缩短，提升响应速度，增强驾驶风险预警效果。系统引入档位识别模块，当车辆处于倒车或驻车状态时自动中断雾灯控制输出，防止误触发照明单元。

在灯光总成管理模块中设定自动大灯与雾灯之间的优先级管理逻辑，在强光、远光已激活条件下禁止前雾灯叠加，

避免光源干扰叠加影响前向能见度判断。系统状态检测周期保持在 50ms 以内，可实现对行车状态的高频率采样与实时处理，确保雾灯控制触发逻辑对车辆动态变化的跟踪精度。该状态驱动机制与能见度控制等级判定形成复合触发逻辑，构成自适应控制策略的多条件响应闭环结构。

### 3.3 多源数据控制策略融合方法

自动雾灯控制系统在动态环境中运行，需综合多类传感器数据完成能见度状态判定。不同传感器在响应时延、抗干扰性与数据分布特性方面存在结构差异，直接使用单一数据源易产生误判或丢失关键环境信息[3]。图像识别模块可实现对环境清晰度的区域判定，但在夜间或强逆光条件下识别准确性下降。红外传感器对物体热信号敏感，适用于低照度条件下的障碍感知，但受气温差影响较大。光照传感器能反映整体环境亮度变化，在清晨、傍晚等阶段对环境感知能力强。为实现系统级的综合感知判断，需构建统一的数据融合模型，将各通道数据按环境特性进行动态加权，确保融合输出具备稳定性与可靠性。

系统设定图像识别结果为  $D_1$ 、红外感应值为  $D_2$ 、环境光照测量值为  $D_3$ ，构建融合判断值  $D_f$ ，融合计算模型如下：

$$D_f = w_1 \cdot D_1 + w_2 \cdot D_2 + w_3 \cdot D_3$$

其中， $w_1$ ， $w_2$ ， $w_3$  分别代表三类数据源的权重系数，满足约束条件  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ ，用于控制数据在融合判断中的影响比例。系统内设环境情景识别模块，根据外部光照变化、温湿度信息与历史数据趋势动态调整权重参数。夜间工况中，提升红外通道权重  $w_2$  并下调图像通道权重  $w_1$ ，在能见度高的晴天场景中，则优先使用图像识别值与光照测量值作为判断基础。融合判断值  $D_f$  经比较设定阈值后进入控制逻辑模块，作为雾灯启闭的核心判定依据，控制信号由主控单元发出并经总线发至执行机构。

系统引入误差补偿与冗余容差结构，用于削弱偶发波动对融合结果的干扰影响。在连续采样周期中，采用滑动窗口均值与斜率判断方式校验的趋势稳定性，保障雾灯控制逻辑具备缓冲处理与防抖能力。

### 3.4 控制系统的工程部署适配性

控制系统采用嵌入式主控单元与边缘处理节点分布式结构，主控模块具备标准化 CAN 接口协议栈，可对接整车 BCM 或独立灯控模块实现控制指令转发，适配主流车规网络架构。电气接口采用双向隔离 IO 设计，具备过流保护与通信优先级预设能力，支持在 12V 与 24V 供电平台间无缝切换。系统内部参数配置可通过 OBD 端口写入或网关远程刷新，便于整车 OTA 集成。传感器安装方案基于车头预留接口布置，图像模块嵌入前风挡上沿，红外与光照单元集成于前保险杠两侧，线束布设遵循车规防护等级，具备抗震、耐腐蚀与屏蔽性能要求。控制逻辑具备自诊断与状态上报功能，支持与车载诊断系统联动开展异常检测与故障识别。

## 4 控制系统的工程实现方案

### 4.1 控制系统集成测试流程

控制系统采用分布式架构设计，核心计算单元基于 ARM Cortex-A7 双核嵌入式处理器，集成 Linux 系统以支持高并发的数据处理需求 [4]。主控模块通过 CAN-FD 接口接入整车通信总线，具备标准 ISO 11898 协议栈与自适应报文解析能力，能够兼容主流车型 BCM 数据格式。传感器端部署包含图像采集模组、红外热感传感器与可见光强度传感器三类单元，分别安装于前风挡、保险杠与车辆前舱区域，线缆统一接入预设的边缘节点处理器，边缘节点集成模数转换、电源稳定与瞬态抑制模块，具备宽温宽压运行能力。电气连接采用航插结构与屏蔽缆线，满足 IP67 等级的防尘防水与抗干扰需求。系统供电平台支持 12V/24V 双平台切换，内置 TVS 管阵列用于过压保护与浪涌抑制，控制输出接口设计为双向隔离 IO，可实现外部执行器件如雾灯模块的实时控制与状态回读，确保软硬件协同控制的稳定性。

### 4.2 雾灯响应延迟测定方法

系统嵌入方式以模块化部署为核心，主控单元通过 CAN-B 总线与 BCM 节点建立物理与逻辑联通关系，在车辆启动后完成初始化自检并主动注册功能模块，控制逻辑与灯控域之间建立基于事件驱动的报文通信通道，报文 ID 设定遵循整车域间交互规范，支持主 / 被动上报机制，数据帧结构包含控制指令字段、状态反馈位与冗余校验段 [5]。传感器布置遵循整车前脸空间布局与气流分布特性，图像模组与光照传感器固定于风挡上缘，借助遮阳板机构进行抗强光优化，红外单元嵌入保险杠下沿内腔，利用开孔导光设计提升感应角度。供电系统接口接入整车电源分配模块，配置独立熔断器与继电器控制单元以增强运行安全性，控制信号采用双线差分传输结构，避免因地线干扰引发误触发。系统内各单元具备软地址设定功能，可适应不同车型在网络拓扑、布线长度与报文资源上的差异性，整体实现方式满足主流乘用车与轻型商用车平台的工程移植条件。

### 4.3 控制精度多场景对比分析

调试流程以诊断模块为中枢控制平台，工程师可通过 OBD 接口或 CAN 调试终端进入系统调试模式，配置控制参数包括图像阈值因子、红外灵敏系数与环境融合权重等变

量，并支持在线调整与即时写入。系统配置文件以 XML 结构组织，嵌入主控存储区域并提供 OTA 升级接口，支持远程增量更新、参数回滚与异常校验逻辑，升级过程嵌入状态监测机制以避免写入中断风险。控制模块嵌入故障转移功能，当部分传感器信道丢失信号或读取异常时，系统依据默认降级策略启用备用逻辑保障控制连续性。物理硬件具备热插拔检测与电气隔离容错结构，插拔状态变化可触发中断并由系统记录事件日志，在后期运维中支持通过诊断软件对设备状态、信号流与控制回路进行溯源。控制节点集成健康状态上报协议，每运行周期自动生成 CRC 校验与时间戳数据并发送至 BCM 日志域，便于制造阶段与售后维护的快速定位与精细分析。

## 5 结论

文章构建了基于图像对比度、红外感应与光照强度融合的能见度感知模型，设计了面向环境等级与车辆状态的自适应雾灯控制策略，系统完成了软硬件一体化部署，构建了传感输入—逻辑判断—执行控制的闭环结构，具备嵌入式部署与平台化移植能力。系统架构融合多源传感器信息、分布式处理节点与 CAN 总线通信机制，能够实现复杂气象条件下的稳定能见度识别与精准雾灯控制输出。控制逻辑支持多条件复合触发与参数动态调整，适配整车网络与电源系统的工程环境要求。研究成果具备工程化实施的完整性与可拓展性，可为低能见度环境下的车辆智能照明控制提供技术支撑与应用基础。

## 参考文献

- [1] 王鹏淏.面向公路团雾分布式检测的能见度感知节点技术研究[D].哈尔滨工业大学,2023.
- [2] 薛峻耀.高速公路智能雾灯诱导系统技术研究与应用[J].云南水力发电,2022,38(03):185-187.
- [3] 李伟东,刘亚,周佩炫,等.浅谈一种低能见度下车辆雾灯自动开启的装置及方法[J].时代汽车,2021,(01):127-128.
- [4] 李建明,刘宇,张婷.基于视知觉感知要素的能见度HMM模式测量方法研究[J].国外电子测量技术,2019,38(09):7-10.
- [5] 苗开超,周建平,陶鹏,等.自适应混合卷积神经网络的雾图能见度识别[J].计算机工程与应用,2020,56(10):205-212.

# Application analysis of anchor support in coal mine roadway excavation

Jun Zhao Jiubin Hu Qiusheng Liu

Yanzhou Coal Industry Co., Ltd. Xinglongzhuang Coal Mine, Jining, Shandong, 272102, China

## Abstract

As a cornerstone of China's energy system, coal plays a pivotal role in both economic development and daily life. With increasing mining depths and complex geological conditions, traditional support methods have become inadequate. Anchored support technology has emerged as the mainstream solution due to its superior performance, operational efficiency, and cost-effectiveness. This study systematically examines the application of roadway anchoring in coal mine excavation, identifies existing challenges, and proposes practical implementation strategies to enhance safety and operational efficiency in coal mining operations.

## Keywords

Coal mine excavation; roadway anchoring; support technology

# 煤矿掘进巷道锚杆支护的应用分析

赵军 胡久彬 刘秋生

兖州煤业股份有限公司兴隆庄煤矿，中国·山东 济宁 272102

## 摘要

煤炭是我国主体能源之一，在我国的经济建设和人民生活中占据着十分重要的地位。随着煤矿开采深度加大和地质条件复杂化，传统支护方式已难以满足需求，锚杆支护技术因支护效果好、施工便捷、成本低廉成为主流。因此，本文主要探讨了煤矿掘进巷道锚杆支护技术的应用分析，明确锚杆支护方式的应用、存在的问题，并提出煤矿掘进巷道锚杆支护的应用路径，以期能够为煤矿的安全生产和高效开采提供有力保障。

## 关键词

煤矿掘进；巷道锚杆支护；支护技术

## 1 引言

煤矿生产主要是在巷道中进行，而煤矿巷道承担着运输煤炭、通风供氧、排除积水、维护人员通道的作用，其中巷道的稳定性将直接影响到煤炭的开采速度与安全水平。由于煤矿开采越深、地质条件越来越差，煤矿掘进巷道所需要的支护要求也越来越高。由于传统的木支架或金属支架支护形式不能满足现在煤矿生产高强度高负荷的工作需要，并且同时伴随有施工周期长，支护力弱，存在安全隐患等问题，所以已经被淘汰。而锚杆支护则能够有效的克服以上不足。但是锚杆支护还存在着一些问题，比如机械程度低，相关的配套技术手段滞后，锚杆支护一体化发展也受到阻碍等，所以针对煤矿掘进巷道锚杆支护方面的应用进行分析是很有必要的。

## 2 煤矿掘进巷道锚杆支护方式的应用

### 2.1 顶板支护

顶部板保护是煤矿掘进巷道锚杆支护的关键运用之一，在巷道开挖后没有了原生的支撑，顶部岩石极容易出现坍塌或者冒顶的情况，在这种情况下只有采用有效的支护措施才能够确保巷道的稳定性与工作人员的安全。锚杆支护技术就是靠锚固力的作用把顶板岩石与巷道支护体系结合成整体，然后对其进行加固。而锚固手段往往受到岩层本身的性能影响比较大，在进行实际施工中经常会因为岩层的不同状态而选用不同种类、长短和直径大小的锚杆，并且考虑布置方式的不同来采用锚杆固定。由于其具备较强的锚固力，在面对岩性较好、节理不发育的顶板时，常采用长度为 1.5 ~ 2 m 的单根锚杆。在面对岩质较差、节理发育的顶板，需要使用长度大于 2.5 m 的长锚杆或者组合锚杆，甚至使用预应力锚杆来提高锚固力。当进行精确、严谨的顶板支护后能使得顶板岩石的位移量 < 3 cm，变形量 < 5 cm，从而保证巷道的稳定与作业安全。

【作者简介】赵军（1998-），男，中国辽宁昌图人，本科，助理工程师，从事掘进支护研究。

## 2.2 侧墙支护

侧墙支护是煤矿掘进巷道锚杆支护必不可少的一个环节。在煤矿掘进时,由于媒体的采动而引起巷道两帮易发生片帮及垮塌事故,利用锚杆支护的技术,把锚杆固定在侧墙岩层中,利用锚杆与支护结构整体联结在一起的方法可有效提高侧墙的整体稳定性和抗压承载能力,并能承受超前所估的价值达两倍的力值。确定侧墙支护时,锚杆布置需要结合巷道断面、岩石情况及开采需要而定。对于直墙巷道的支护,往往采取锚杆垂直布置于巷道两侧墙面上;斜向布置于巷道两侧墙面(夹角 45°),一般单根锚杆孔距 1~1.5 m;对于曲墙巷道的锚杆支护则是根据不同的曲率来布置锚杆的方向及锚杆间的距离,并让锚杆与巷道围岩贴合紧密,最终达到巷道支护的目的。除了锚杆外还可以采用钢带、网片等辅助材料同锚杆组合一起施工成更多的支护体系。由锚杆和辅助材料构成的组合支护系统,不仅可以增加系统的强度和刚度,还可使支护效果提高 30% 以上,因此可以有效提高巷道的稳定性,有利于保证煤矿的安全生产。

## 2.3 交叉点与断层地带支护

在煤矿掘进巷道中的交叉点和断层带是最难支护的部位,由于这些地点的地质构造异常复杂、岩石极破碎、应力高度集中,经常造成严重的变形或破坏,所以支护相当困难。在锚杆支护的应用中,这些地方支护更加复杂。在交叉点的支护过程中,使用长度大于 3 米以上的加长锚杆或预应力锚杆、组合锚杆等高强度材料都是很好的选择。使用这些支护强度加强措施后可以使交叉点处的支护强度提高百分之五十左右,抵抗地质变化的压力。此外,在断层带的支护中除用一般的锚杆支护外还要针对断层带宽度、倾角、岩性等情况进行特殊支护,如对宽度大于 2 米的断层带可以采用注浆加固的方式对裂缝灌注高强浆液填充裂缝及岩石内孔,并增加填浆加固;也可采用架立钢架形式来加强,这样不仅可以使锚杆起到良好的支撑作用,还可以有效地维持断层带的整体稳定性。

# 3 煤矿掘进巷道锚杆支护中遇到的挑战

## 3.1 设备机械化程度不足

巷道锚杆支护技术是煤矿开采过程中的一项重要技术手段,决定着煤矿开采的安全与开采效率。但是目前,大多数煤矿企业还处于机器自动化水平不足的状态,对于巷道锚杆支护技术作用发挥的空间也不大。从机械设备的使用方面看,机械设备的运转并非完全自动,在使用的過程中无法实现机械设备本身智能化程度的提高,这对于人工作业而言无疑是一项巨大的压力。如在煤矿开采过程中,对于锚杆支护技术来讲,需要用到的机械设备有掘进机和锚杆机等。如果这些机械设备不具备智能化,那么就需要相关人员投入大量的精力进行人工操作,不仅增加了他们自身的劳动强度,而且增加了事故发生概率;其次,由于煤矿企业更新速度较

慢,并没有形成一套完善的检修体系,在更新过程中会出现浪费较多资金的情况。

## 3.2 相关配套技术滞后

煤矿巷道掘进工作对施工技术的要求很高,与其他行业的施工要求相比更加严格。矿井巷道掘进是由许多施工部门所完成的,只有这些部门之间紧密协作才能获得良好的施工效果,但是在目前矿井掘进巷道锚杆支护的过程中还存在着一些问题,比如:相关配套的技术相对滞后,在这种情况下就会影响到各个部门间的沟通,同时也会影响整个施工进度,并且有可能会导致挖掘速度受到影响,进而对日常施工造成不良影响。一方面,煤矿掘进巷道锚杆支护技术配套技术滞后,不利于施工部门间信息互通。煤矿巷道掘进需要地质勘查、施工设计、施工管理等部门协同配合,但由于配套技术落后,导致各部门间的信息传达不畅,无法及时传递,最终影响到了施工进度、质量等,如地质勘查部门获取的信息不能及时传递给施工设计部门,会造成施工设计方案不符合实际条件的情况发生;另一方面,配套技术落后也会使煤矿掘进巷道锚杆支护技术的掘进速度不能得到保障。因为煤矿巷道掘进的速度直接关系到煤矿开采效率。因为配套技术落后,在于井下掘进中会出现的一些问题没办法及时得到解决,就会影响掘进速度。比如在掘进的时候,有可能要用到特殊的支护材料或支护设备,但是由于配套的技术跟不上,没有及时准备好相关的材料或设备,那么就会影响掘进的速度。

## 3.3 锚杆支护一体化发展受阻

在煤矿掘进巷道锚杆支护过程中,一体化发展受阻是目前遇到的一大难题,其主要体现在:煤矿施工规模大、巷道多,必须将锚杆支护技术与其它施工技术相结合,形成一套完整的、相辅相成的一体化作业模式。但在实际应用过程中,一体化技术的实施效果差强人意,一是因为施工现场不可控因素较多(如:地质、施工环境)导致锚杆支护技术无法达到规定标准、规范;二是锚杆支护技术在实际应用过程中效果不及预期,最终会导致巷道难以达到稳定、安全的状态。另外,因设备体积大且多数为重型设备使得作业现场安全管理难上加难。如在掘进期间,由于设备要进行反复多次搬运,不仅耗损严重,还有可能使现场安全风险变高。同时,体积较大还会造成现场过于狭小,不利于锚杆支护技术的应用,所以就有些煤矿现场而言,难以应用这一项技术。究其原因主要还在于煤矿采掘和支护尚未实现一体化和智能化,我国现有的锚杆支护技术整体上只实现了支护与掘进的技术融合,对于煤矿采掘支护的一体化还处于初级阶段,未能突破各个部门间的协作,导致一体化作业模式难以实现。

# 4 煤矿掘进巷道锚杆支护过程中应用路径

## 4.1 强化设备机械化水平

加大煤矿掘进巷道锚杆支护设备机械化水平是提升矿

并开采效率和保证矿山安全生产的有效方式。锚杆支护技术的应用需要一系列现代化的机械装备支持，包括掘进机、锚杆机、注浆机等，若是设备机械化程度高，则更容易将锚杆支护技术运用到现场当中去。一是增加智能化水平，可以大大提高人工负担，提升安全保障性。二是加快设备更换速度，完善检修体制能提高掘进速度并降低消耗。从一定程度上讲，设备的更换频率决定着设备的损耗程度以及运行效率。对于煤矿企业而言，就需要不断更新更换设备，并将废旧设备进行淘汰掉，进一步提高设备的运行效率。并且，建立健全检修体制，能够及时排查出并处理好设备的故障问题，从而预防在掘进过程中因为设备的问题而产生中断的情形，如此便可在很大程度上提高掘进的速度。三是提高设备适应性，能够针对不同地质条件下的锚杆支护。不同的地质条件要求不同的锚杆支护技术，煤矿企业在实际工作中要根据具体情况合理选择设备。

#### 4.2 对巷道锚杆支护配套技术进行优化

为了实现巷道锚杆支护的最佳状态，第一步就是技术研发准备阶段，要开发出综合性的掘进系统，结合智能化的管理理念，使得开采出来的煤量逐年增加。因此需要引进先进的掘进设备，如自动化掘进机、智能化锚杆机，并且在数据的采集和监控下对掘进的各项参数进行动态的分析和调整，以此来满足自身掘进速度的要求，还能保证掘进的安全性。第二步是在施工条件和作业的地质勘测结束后，应保障地质数据的准确性，也就是借助于高精度地质勘探手段，比如使用三维地震勘探或者地质雷达获取煤矿井巷地质资料，以便给出巷道施工支护数据，并根据地质情况选择锚杆的类型、长度、直径以及布置形式，进而做好锚杆支护。第三步是在掘进作业方案编制时需要完善除尘系统的建设，因为煤矿生产会产生大量的粉尘，对于工人身体健康以及设备寿命都有着很大的危害，在使用高效除尘器来降低粉尘影响的同时，能够使得工作质量有所提升，根据一体化生产模式，将掘进—支护—运输连接起来，这样才能使井巷开拓更加顺利，也可以进行综合化的处理，来提高施工速度。

#### 4.3 完善煤矿掘进巷道锚杆支护一体化

为促进煤矿掘进巷道锚杆支护的一体化发展，一方面应强化信息化建设，在煤矿掘进巷道锚杆支护中应用信息化管理平台采集数据，对锚杆支护各环节数据信息开展实时采

集、分析与处理工作，以便于实现对整个锚杆支护过程全面监测与控制；另一方面，在利用信息化管理平台实现与其他施工技术共享、协同工作的基础上，可大幅提高整体工作效率与工程质量。其次，优化施工工序。合理优化施工工序对锚杆支护的一体化发展具有重大作用，在针对煤矿掘进巷道锚杆支护的过程当中通过对整个工序进行统筹优化，有助于整个工序的工作开展，避免大量的重复性工作、浪费劳动力的情况发生，并且也能够避免在工作开展的过程中出现类似错误等影响工作效率的问题，进一步确保煤矿掘进巷道锚杆支护中工序更为顺畅开展。此外，优化施工工序还有利于其他施工工序的融合，以此来提高煤矿掘进巷道锚杆支护一盘棋的实施效果。同时，不断推动技术创新，创新锚杆支护技术，增强锚杆支护效果与质量的同时，降低锚杆支护施工的成本以及危险性。

### 5 结语

煤矿掘进巷道锚杆支护技术是煤矿开采工程中确保巷道稳定及作业安全的重要手段，根据煤矿掘进巷道锚杆支护应用情况的分析，详细阐述了锚杆支护的顶板支护、侧墙支护、交叉点、断层带锚杆支护技术；锚杆支护过程中存在的设备机械化程度低、配套的技术不到位、锚杆支护一体化难度大等问题。在煤矿掘进巷道锚杆支护期间，要提高设备机械化程度，完善巷道锚杆支护配套技术，完成煤矿掘进巷道锚杆支护一体化，并且利用智能化管理方式完善除尘系统，有效提高开采效率，以满足国家经济发展需求。煤矿掘进巷道锚杆支护技术不仅要与时俱进地革新和完善锚杆支护技术，还要注重同其他施工技术的互相衔接协调，并以此实现锚杆支护的一体化作业形式。只有这样才能切实保证煤矿开采工程的安全、高效和稳定开展，成为我国煤矿发展的坚强后盾。

### 参考文献

- [1] 杜建新, 姜春力, 黄明明. 煤矿井下掘进过程中巷道锚杆支护的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (12): 160-162.
- [2] 余鹏祥. 锚杆支护技术在煤矿掘进巷道中的应用 [J]. 钻岩机械气动工具, 2025, 51 (04): 148-150.
- [3] 张龙宝, 张金峰, 徐晓燕. 煤矿掘进巷道锚杆支护方式的运用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (02): 158-160.

# Research on Operation and Maintenance Management System of Electromechanical Systems for Internet of Things Expressways

Hu Zhang

Henan Transportation Investment Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the continuous expansion of China's expressway network, electromechanical systems—crucial infrastructure for road safety and operational efficiency—now face heightened demands for maintenance management quality. This study focuses on IoT-enabled maintenance management frameworks for highway electromechanical systems. It first outlines the necessity of IoT applications, covering system components, equipment impacts, operational risks, and how these systems ensure stability. A “sensor layer-network layer-application layer” architecture is proposed, detailing functional modules across each tier. The research further analyzes core modules including full lifecycle management, intelligent fault resolution, and workforce optimization. These findings contribute to developing efficient smart maintenance systems, significantly enhancing operational efficiency and system reliability in highway electromechanical infrastructure.

## Keywords

Internet of Things; Highway; Electromechanical Systems; Maintenance Management System; Intelligent O&M

# 基于物联网的高速公路机电系统运维管理体系研究

张虎

河南交通投资集团有限公司，中国·河南 郑州 450000

## 摘要

随着我国高速公路里程持续增长，机电系统作为保障道路安全高效运行的核心设施，其运维管理质量面临更高的要求。基于此，本文聚焦物联网应用下的高速公路机电系统运维管理体系。先是简要阐述了物联网应用必要性，涵盖机电系统构成及设备影响、运行风险因素及体系对运营稳定性的保障作用，同时设计了“感知层-网络层-应用层”的物联网应用架构，详细阐述机电系统应用架构各层功能。在此基础上，研究深度剖析高速公路机电系统运维管理的核心功能模块，具体涉及全生命周期管理、智能故障处理闭环、人员与资源调度等。研究成果可助力构建高效智能的运维管理体系，助力快速提升高速公路机电系统运维效率及其稳定性。

## 关键词

物联网；高速公路；机电系统；运维管理体系；智能运维

## 1 引言

高速公路机电系统作为保障行车安全、提升通行效率的关键支撑，其稳定运行直接关乎路网整体效能。当前智慧交通建设加速推进，监控、收费、通信等机电子系统日益复杂，设备数量激增且分布广泛，传统运维模式主要依赖人工巡检，目前暴露出出时效性不足、成本偏高、故障预判能力薄弱等问题。<sup>[1]</sup>在此过程中，如何有效依托技术创新突破运维瓶颈，成为行业发展的重要课题。物联网技术凭借其高效

传输、智能分析的特性，为构建新型运维管理体系提供可行路径。因此，下述将围绕基于物联网的高速公路机电系统运维管理体系展开研究，探索其应用逻辑与实践路径，以期为行业转型升级提供思路。

## 2 高速公路机电系统运维管理体系物联网应用的必要性

### 2.1 机电系统构成及设备影响

高速公路机电系统是保障道路高效运转的核心基础设施，主要由监控系统、收费系统、通信系统、供配电系统、照明系统及隧道机电系统等多子系统构成。其中监控系统摄像机、车辆检测器等负责实时路况感知，收费系统ETC门架、车道控制器支撑精准收费，通信系统光纤网络与交换机保障

**【作者简介】**张虎（1979—），男，中国河南驻马店人，本科，高级工程师，从事高速公路机电工程、高速公路信息化工程研究。

数据传输。各子系统设备独立运行又相互联动，任何环节设备故障都可能引发连锁反应<sup>[2]</sup>。例如通信中断会导致监控与收费数据传输受阻，供配电故障会造成隧道照明熄灭，直接威胁行车安全。因此，机电设备稳定运行是高速公路通行效率与安全的重要基础，其运维质量直接决定路网管理效能。

## 2.2 机电设备运行的风险因素

对于高速公路机电设备，其运行环境兼具显著复杂性、不确定性。从空间分布来看，高速公路机电设备或暴露于野外，如沿线摄像机、ETC 门架；或处于特殊场景如隧道、收费站，长期面临自然环境、人为因素双重考验。从自然环境的角度来看，高温、暴雨、冰冻等极端天气均可能导致机电设备受潮、线路老化或部件损坏；例如夏季高温易使供配电设备过载，冬季冰雪可能冻裂通信光缆。从人为方面来看，车辆震动、施工干扰及人为破坏可能造成设备位移、线路松动。这些风险因素相互交织，致使传统人工巡检难以全面覆盖，亟需通过物联网技术实现动态监测。

## 2.3 体系对运营稳定性的保障作用

基于物联网的运维管理体系可通过实时感知与主动响应机制，为高速公路运营稳定性提供关键保障。传统模式下，设备故障主要依赖人工巡检，存在响应滞后、漏检率高的问题，极易导致小故障演变为大事故。而物联网体系通过在设备部署传感器，可实时采集运行参数如电压、温度、信号强度，借助网络层快速传输数据<sup>[3]</sup>，在故障萌芽阶段触发预警。例如光纤在线监测系统可通过衰减曲线分析提前定位潜在断点，避免通信中断；供配电监测模块可实时追踪电流变化，预防过载停机。由此可显著缩短故障处理时效，通过历史数据挖掘设备劣化规律，从根本上降低系统瘫痪风险，保障高速公路全天候稳定运营。

# 3 基于物联网技术的高速公路机电系统应用架构设计

## 3.1 感知层：设备状态实时捕捉

感知层是物联网技术在高速公路机电系统运维中的基础环节，通过部署各类传感器与智能终端，实现对机电设备运行状态的全方位、实时捕捉。针对监控系统摄像机，安装亮度传感器、抖动监测器，实时采集画面清晰度、信号稳定性等参数，自动识别镜头污染、角度偏移等故障；在收费系统的 ETC 门架与车道控制器中，嵌入电压传感器与通信探针，追踪设备供电稳定性及数据交互成功率；对于通信系统光纤线路，配置光功率传感器，持续监测信号衰减值；供配电系统的变压器、UPS 则配备温度传感器与电流互感器，记录运行温度、负载变化等关键指标。

此外，隧道机电系统风机、消防设备等，通过振动传感器与红外探测器捕捉异常运行状态。这些感知设备将采集到的原始数据初步过滤，识别超出阈值异常信号，为后续故障诊断提供基础数据，形成机电系统“神经末梢”的实时感

知网络，确保各类设备状态信息的全面捕捉、及时反馈<sup>[4]</sup>。

## 3.2 网络层：数据高效传输集成

网络层主要承担感知层数据的传输与集成功能，是连接感知层与应用层的关键纽带。依托高速公路沿线已有的光纤专网作为主干传输通道，保障大量实时监测数据高速传输，尤其适用于隧道、桥梁等关键路段的大容量数据交互。在光纤覆盖相对薄弱的区域，辅以 5G 无线网络为补充，解决偏远路段设备的通信盲区问题，确保沿线机电设备的全连接。

网络层还需具备数据预处理能力，通过边缘计算节点对感知层传输的原始数据清洗、筛选、压缩，剔除冗余信息。该过程中还需提取设备运行特征参数，例如摄像机故障代码、光纤衰减曲线，以此尽可能地减少数据传输量。同时采用加密传输协议保障数据安全，防止传输过程中出现信息泄露或篡改。基于这一“光纤+5G”的混合网络架构与数据预处理机制，网络层实现机电系统各类数据高效集成、可靠传输，为应用层智能决策提供数据支撑。

## 3.3 应用层：智能决策与执行落地

应用层是物联网技术在高速公路机电系统运维中的核心应用环节，通过整合数据资源与功能模块，实现智能决策与运维执行的闭环管理。该层以云平台为载体，集成设备台账管理、实时监控大屏、故障预警系统、工单派发模块等功能<sup>[5]</sup>。

设备台账管理模块存储机电设备的型号、安装位置、维修记录等全生命周期信息，通过与感知层数据关联，形成设备健康档案；实时监控大屏汇聚各路段机电系统运行状态，以可视化图表展示关键指标（如设备完好率、故障处理时效），支持管理人员全局掌握系统运行情况；故障预警系统基于网络层传输的特征数据，结合历史故障模型，自动识别潜在故障并分级预警，如将 ETC 门架通信中断判定为一级预警，触发紧急响应流程。

除此之外，应用层还具备数据分析功能，通过挖掘设备运行数据规律，生成预防性养护计划。例如根据季节变化预测供配电系统负载高峰，提前安排检修。最终应用层将决策结果转化为具体运维指令，实现从数据感知到执行落地的全流程智能化管理，以此尽可能地提升高速公路机电系统运维效率与精准度。

# 4 高速公路机电系统运维管理体系的核心功能模块

## 4.1 设备全生命周期管理模块

在基于物联网技术的高速公路机电系统运维体系构建中，设备全生命周期管理模块是重要支撑，可实现从设备入库直至报废的全流程数字化管控。在设备入库阶段，系统将录入工号、附件信息、登记时间、使用寿命、出厂日期、厂家等详细资料。并通过物联网技术自动生成唯一条形码或电

子标签，关联设备基础信息与物联网感知节点，实现“一物一码一终端”的精准绑定<sup>[6]</sup>。

在高速公路机电设备运行期间，模块可实时同步感知层传输的状态数据，例如供配电设备电压波动、通信设备信号强度等。同时结合运行年限、维护记录等信息，动态更新设备健康评分。当设备接近使用寿命或故障频率超出阈值时，系统自动触发报废预警，同步推送至资产管理人员。此外，模块通过数据库存储设备全生命周期数据，支持基于物联网的历史轨迹追溯，如查询某摄像机的安装时间、维修次数、传感器更换记录等，为设备采购、更新提供数据支撑。

## 4.2 智能故障处理闭环模块

在高速公路机电系统运维管理中，智能故障处理闭环模块主要依托物联网技术构建“预警 - 派单 - 维修 - 验收”的全流程机制。当感知层监测到设备异常，例如光纤衰减超标、ETC 门架通信中断等，模块自动接收故障信号，结合网络层传输的特征数据分级研判，生成故障工单并推送至区域运维中心。

其中工单主要涵盖故障设备物联网终端 ID、历史维修方案、关联传感器实时数据等信息，便于维修人员快速定位问题。维修人员可通过移动客户端接收工单，现场处理时扫描设备电子标签调取详细参数，处理完成后上传维修记录，系统自动同步至数据库。模块还具备在线监督功能，管理人员可通过物联网实时查看维修进度，维修完成后自动触发验收流程，对比处理前后的设备状态数据，确认故障解决后闭环工单。

## 5 基于物联网的高速公路机电系统运维管理体系实践案例

### 5.1 案例概况

研究选取广东省高速公路光纤在线监测系统，应用于广东省南北向主干线（全长约 650 公里）的通信系统运维管理。该线路串联 12 个收费站、8 座隧道及 5 个服务区，通信光缆总长度达 1300 公里，是维系监控、收费等机电系统数据传输的核心链路。传统运维中，光缆故障依赖人工巡检定位，平均排查时间超 4 小时，年均因通信中断导致的监控盲区、收费数据延迟等问题频发，影响高速公路运营效率。基于任光远提出的物联网三层架构及谢黎所述“全业务管理阶段”技术要求，该省于 2020 年部署光纤在线监测系统，实现光缆状态的实时感知与智能运维。

### 5.2 实践应用方案

感知层沿光缆线路每 2 公里设置 1 个光纤传感器，采集光功率、衰减系数等参数，通过光时域反射技术（OTDR）

捕捉光缆断点、弯曲等异常。网络层采用光缆自身信道作为主传输链路，同步搭载 4G 备用网络，将传感器数据经边缘节点预处理后，传输至省级运维中心。应用层开发光纤运维云平台，集成设备台账（光缆型号、敷设时间、接头位置）、实时监测大屏、故障预警模块及工单系统。

### 5.3 成效分析

表 1 基于物联网的高速公路机电系统运维管理实施成效

指标	传统模式	物联网模式	提升幅度
故障定位误差	≥500 米	≤5 米	99%
平均故障处理时间	4.2 小时	1.1 小时	73.8%
年均故障次数	32 次	8 次	75%
年度运维成本	156 万元	48 万元	69.2%

该案例验证了物联网架构可行性，其中感知层实现光缆状态实时捕捉，网络层保障数据高效传输，应用层通过核心模块联动提升运维效率，符合自动化监测降低人工成本的实践效果，为高速公路机电系统物联网运维提供了典型范式。

## 6 结论

综上所述，研究通过构建基于物联网的高速公路机电系统运维管理体系，明确物联网应用必要性，设计了“感知 - 网络 - 应用”三层架构，并结合广东省光纤在线监测案例验证了体系有效性。实践表明，该体系能显著提升故障处理效率、降低运维成本，为机电系统稳定运行提供有力支撑。随着物联网技术深化应用，高速公路机电运维将趋于智能高效化，为智慧交通发展奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 王秋,王强,胡永恺,等.高速公路机电系统数智化运维管理探讨[J].公路交通技术,2025,41(03):197-204.
- [2] 赵同龙.集中监控模式下高速公路机电系统设备运维管理[J].设备管理与维修,2024,(20):10-12.
- [3] 邓国红.机电设备智慧运维管理系统在高速公路工程中的应用研究[J].通讯世界,2024,31(06):193-195.
- [4] 费志雄.高速公路机电系统智能化运维管理体系探究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(05):83-85.
- [5] 张璐.高速公路项目智能机电设备运维管理系统研究[J].交通世界,2024,(12):174-176.
- [6] 吴海花.高速公路机电系统智能化运维管理体系探究[J].中国交通信息化,2024,(02):127-129.
- [7] 胡汉桥,陆由,雷伟.高速公路机电系统运维管理一体化探究与实践[J].中国交通信息化,2022,(01):36-39.

# Research and application of computer intelligence combined with Internet of Things technology to achieve welfare and elderly care services

Gang Hou

Changchun University of Humanities, Changchun, Jilin, 130000, China

## Abstract

Welfare and elderly care services are important guarantees for coping with population aging. In order to enhance the intelligence and responsiveness of elderly care services, this article studies the application of computer intelligence combined with Internet of Things technology in the field of welfare and elderly care. By utilizing IoT technology to build a smart elderly care platform, combined with computer intelligent algorithms, real-time monitoring and data analysis of the health status of the elderly can be achieved. The research results indicate that this method can optimize the allocation efficiency of elderly care resources, provide precise elderly care services, and significantly improve the safety and convenience of elderly care services. This study provides important practical reference and technical support for promoting the construction of a modern elderly care service system and improving the well-being of the elderly.

## Keywords

computer intelligence; Welfare and elderly care; Smart Elderly Care Platform

# 计算机智能结合物联网技术实现福祉养老服务的研究与应用

侯刚

长春人文学院，中国·吉林长春 130000

## 摘要

福祉养老服务是应对人口老龄化的重要保障，为提升养老服务的智能化和响应能力，本文研究了计算机智能结合物联网技术在福祉养老领域的应用。通过利用物联网技术构建智慧养老平台，结合计算机智能算法，实现对老年人健康状态的实时监测与数据分析。研究结果表明，该方法能够优化养老服务的配置效率，提供精准化养老服务，同时显著提升了养老服务的安全性与便捷性。该研究为推动现代化养老服务体系建设和提高老年人福祉提供了重要的实践参考与技术支持。

## 关键词

计算机智能；福祉养老；智慧养老平台

## 1 引言

伴随全球老龄化恶化，中国老龄化问题尤其显著，60岁及以上人口达到2.8亿，占19.8%，对于传统养老服务呈现严重挑战，具有资源不够、服务缺少定制化、养老安全性不佳等问题。现代信息技术给养老体系创新提供机遇，其中物联网技术拥有即时监测、数据传输和互联互通能力，智能算法能够深入解析多源数据，应用于健康管理、行为预测及资源改进。两者融合应用可促进养老服务朝智能、精确、高

效转型，提高服务效率，改进资源配置及确保安全性。本文自计算机智能与物联网融合创新的视角，搭建智慧养老平台并证实其应用价值，为现代化养老服务体系建设提供技术支持与实践参考。

## 2 智能化福祉养老服务的背景与需求

### 2.1 人口老龄化现状与福祉养老的挑战

全球范围，老人数量增多现象出现，转变为社会需解决的重大难题。清晰统计数据，多数国家步入老人占比高阶段，老人数量增多，养老服务需求大幅增加持续扩展。老人数量增多，医疗社会保障体系带来巨大负担，同时传统养老服务模式遭遇全新新颖挑战。养老机构面临资源分配不均、服务质量不一致、反应速度慢等困难，资源分配不均等困难明显影响老人的生活质量幸福感。当前情况，福祉养老服务转变为社会高度关注重点。处理难题，智能技术支持的养老

【课题项目】长春人文学院福祉专项基金项目（项目编号：FZKY2024045）。

【作者简介】侯刚（1976-），男，中国吉林长春人，博士，教授，从事计算机通信、人工智能、大数据研究。

服务需求显得迫在眉睫。智能技术和物联网替福祉养老供给崭新的解决方案，经由技术手段改善养老服务模式，用以提升服务效率和质量。这种技术结合不只能够达成针对老年人健康的即时监测以及全面评估，亦能推动养老资源的改良配置和高效率使用。智能化福祉养老服务正变为处理人口老龄化问题的一项重要举措。经由创新技术的应用，能为建立契合当代需求的养老服务体系建设就稳固的基础。

## 2.2 智能技术与物联网在养老服务中的潜力

智慧技术物联网用在养老服务上，展现出非常大的潜力价值，能够大大提高服务效率服务水平，满足老年人的个性化需求。智慧技术通过处理分析大量数据，帮助养老服务提供精准的决策支持科学依据。先进的传感器可穿戴设备能够收集老年人的健康信息，比如心率、血压等数据，做到持续监测健康情况及时发出预警进行健康管理。物联网技术把各种设备系统连接起来，建立一个统一的信息网络，促进信息共享高效协作合理分配资源。这些技术帮助养老机构快速应对老年人的紧急情况，优化护理方案，降低运营成本，提高服务质量。通过深度结合智慧技术物联网，智慧养老服务能够更好地满足老年群体的各种需求，提高老年人的生活质量安全保障。

## 2.3 构建智慧养老平台的需求分析

为了高效处理人口老龄化的挑战，构建智慧养老平台变为提高养老服务的重要方向。智慧养老平台需借助物联网技术达成对老年人多维度健康数据的精确收集与实时刷新，保障数据的实时性与精确性。平台需拥有高效率的数据处理能力，以支撑即时健康监控与解析，推动个性化养老资源的改良分配。达成养老服务的智能与独立性为该平台构建的核心目标，以提高老年人福祉为最终指引，保障服务的安全与可持续。

## 3 计算机智能与物联网技术的融合框架

### 3.1 物联网技术的核心架构与数据采集机制

物联网技术的核心架构三层协作紧密，实现数据采集、传递和加工任务。感知层使用传感器和设备辨识老年人的健康状态、日常行为和周围环境数据，实施详细数据采集工作。传感设备包含可穿戴设备、生物监测仪和环境传感器，设备收集老年人的日常活动数据和周围环境详细信息。网络层承担传输数据任务，依靠无线通信技术，包括 WiFi、Bluetooth 和蜂窝网络，应用层负责处理和展现数据，使用计算机智能算法处理数据，展现健康问题，预估潜在风险，供应阶段性建议方案。数据采集系统保证信息采集非常准确，避免遗漏健康风险信息，维护数据存储和传输的安全及隐私。架构为智慧养老平台的顺利运行构建非常稳固基础，实现养老服务的智能目标。

### 3.2 计算机智能在数据处理与健康监控中的作用

计算机智能与物联网技术的融合中，计算机智能借助

先进算法明显增强了数据处理与健康监控的精准度与效率。借助机器学习算法分析庞大的传感器数据，达成对老年人的健康状况实施实时跟踪和预警。深度学习技术则优化了健康数据分析的深度与广度，因此辨识潜在健康风险，给予个性化建议。自然语言处理技术使系统可以领会和应对健康咨询信息，改善了人机交互的效率。智能预测模型可以依据监测数据辨识老年人健康趋势，预先预测并介入可能出现的健康问题。这种技术集成提高了福祉养老服务的响应速度与准确性，并且保证服务提供者可以迅速判断，进而为老年人供给更加可靠、高效的健康服务支持。借助计算机智能的应用，能够明显完善养老服务的技术框架，保障数据处理和健康监控的协同运作。

## 3.3 智能化养老服务框架的构建与技术架构

智能养老服务框架的搭建目标是整合计算机智能和物联网技术，用以提高养老服务的质量和效率。数据采集层任务是采集老年人健康数据，传感器进行实时的监测，智能分析层是使用计算机算法，对数据进行处理与分析，进而给予健康的评估。应用层是将结果转化为服务支持，使服务更加的及时与精准。

## 4 智慧养老服务的实现与功能

### 4.1 健康状态实时监测系统的建设

健康状态监测系统搭建属于智慧养老服务主要构成部分之一，目标是完成老年人健康状况监测和评价任务。系统使用融合物联网技术高端传感器设备，完成多维度数据采集，包含运动、心率、血压、体温等生理指标。数据经无线网络传输至主控数据库，数据依靠计算机算法完成分析，识别健康状态异常并发出警告提示。健康监测系统还包含数据汇总和定制化分析功能，依据个人历史健康数据和行为模式，生成定制化健康建议和调整措施方案。系统的建设过程中，顾及养老环境的可靠性与便捷性，保障传感设备的无障碍操作和对于个人隐私的严密保护。医疗系统迅速启动运行，显著提升了健康管理的智能水平，养老机构能够提供优良的健康服务保障，顺利推进了精准养老服务的持续发展，转变为现代智能养老的关键实践范例。

### 4.2 养老资源精细化管理与调配机制

养老资源管理与调配系统希望提升服务效率和资源使用率。物联网技术帮助系统监控养老资源并进行信息化管理，包含床位数量、护理人员安排、设备使用情况等各种资源数据的收集和分析。智能算法分析这些数据，系统能够预测服务需求的变动趋势，提前调整资源分配方案。动态管理系统自动生成改进方案，确保资源分配合理，加快服务响应速度。大数据分析帮助系统精准投放养老资源，避免资源浪费，提升服务质量。养老机构通过这种系统提升运营效率，老年人获得服务的及时性和匹配度也得到提升，全面改善养老服务有了坚实的技术支持。精细化管理让养老资源分配更

科学，能适应不断变化的要求。

### 4.3 安全性与便捷性提升的技术路径

智慧养老服务平臺重视安全性方便性，提升服务质量重要标准。多层次身份验证机制保护老年人信息隐私安全，应用高级加密技术保护敏感数据传输。加强位置追踪预警系统性能，优化老年人日常活动安全监督成果。方便性方面，使用人性化界面设计语音控制技术，便于老年人使用智能设备，优化用户使用感受。结合云计算技术，实现服务弹性扩展迅速响应，保证不同需求老年人获得迅速定制化服务帮助，提供贴心周到支持。

## 5 应用成果与发展展望

### 5.1 智慧养老平台应用效果与实践验证

智慧养老平臺使用效果实际部署运行获得明显展现。智慧养老平臺使用物联网技术，完成老年人健康状况即时详尽监控，显著地提高健康数据收集全面性和迅速性。计算机智能算法执行收集数据精确详尽分析和风险预警，供应老年人健康管理严谨可信支持。资源分配的建立精细化管理机制，改进养老服务资源适当安排，服务质量覆盖范围获得全面明显改善。安全性的采用多层次监控技术支持，更加减少突发事件的反应时间，更加明显地提升老年人居家养老安全保障水平。站在方便性的角度来分析，通过线上和线下结合的服务方式，可以有效减少老年人获取服务时遇到的困难，同时让老年人使用服务时的感受变得更加顺畅和舒适。实际案例的运行情况清楚地显示，智慧养老平臺大大拓宽了传统养老服务的覆盖范围，为构建现代化的养老体系提供了值得信赖的技术帮助和实践经验。研究结果明确表明，将技术与服务方式结合起来，是解决当前养老难题的一个非常关键的办法，为未来广泛推行智慧养老服务模式打下了非常稳固的基础。

### 5.2 推动现代化养老体系建设的策略建议

促进现代化养老体系建设的策略应当集中于技术与服务的深度融合，提高智能化服务能力。应当激励多方合作，促进高效数据共享机制的构建，以增强养老服务的数据驱动能力。需要强化对养老服务人员技术训练，提高其对智能化设备及平台的使用能力，保障服务质量。政府与相关机构应当制定标准化的智能养老服务规范，指导行业健康发展。增加对智能养老技术研发及应用的投入，优化技术创新和服务模式创新的环境。借助政策指导、资金支持等方式，激活市

场活力，构建多元化的智能养老服务生态体系，为老年人供给更为可靠、方便、定制化的服务体验。

### 5.3 福祉养老服务技术的未来发展方向

未来福祉养老服务技术的发展将要集中于多领域技术的深入整合和革新。物联网和人工智能技术将更深入联合用精准解析个人健康数据，预测健康风险并且供给定制化的护理方案。区块链技术预期运用于提升数据安全性和隐私保护。机器人辅助技术将得到普遍使用于常规护理和健康监测中，而情感计算技术就或许加强老年人的社会互动和心理福祉。借助这些技术的协作发展，智慧养老服务将更加智能和人性，全面性改善养老服务品质和老年人的生活质量。

## 6 结语

计算机智能和物联网技术更加结合，深入研究智能养老服务体系的搭建和实施。运用智能养老平臺更实现老年人群健康状况的全面性检查和数据精确解析更提高养老服务精确度的、可信度和便利性。探索结果表明，技术应用可以改善养老服务资源调配，提高整体养老服务品质的。探索具有一些局限性的，技术普适性和数据隐私保障的方面挑战更。智能养老服务体系涵盖范围的和深度需扩展，偏远地区适用性的和实施性需持续性深入性探索。未来探索需聚焦物联网设备的推广及其与老年人日常生活的整合度，以及强化对数据安全的管控和隐私保障的措施。针对以上问题，建议加强跨学科研究和技术开发，推动政策和标准的制定，以适应不断变化的养老需求和技术革新。通过政策引导与技术创新相结合，将有助于构建更加完善和高效的现代智慧养老服务体系，为应对全球人口老龄化挑战提供坚实的技术与理论支持。

### 参考文献

- [1] 赵春宇.浅谈计算机物联网技术应用及发展[J].市场周刊·理论版,2020,(45):0192-0192.
- [2] 张琪若,叶若妤,孙靓.基于物联网技术的智慧养老[J].特区经济,2020,0(01):64-66.
- [3] 牛永良.计算机物联网技术应用探究[J].软件,2022,43(02):181-183.
- [4] 李莉.基于物联网技术的智能养老服务系统设计[J].工业控制计算机,2023,36(08):54-55.
- [5] 崔倩文,唐聪辉,薛冬晨,李云琪,郭岚湘.基于计算机物联网技术的应用探究[J].数码设计 (上 ),2020,9(06):10-10.

# Reliability Optimization Strategy in Electromechanical Fuze Design

Chengguang Guo<sup>1</sup> Shaoping Wang<sup>1</sup>

1. Xi'an Institute of Mechanical and Electrical Information Technology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

## Abstract

With the rapid development of military technology, the combat environment is becoming increasingly complex, and the reliability requirements for electromechanical fuses are becoming higher and higher. Therefore, conducting research on reliability optimization design methods for electromechanical fuses is not only of great significance for improving the comprehensive performance of weapon systems, but also in line with the development of modern military technology. In the design of electromechanical fuses, reliability is one of the most important performance indicators. From design, production to service and maintenance, reliability runs through the entire life cycle of the fuse. The reliability of fuses directly affects the hit rate and combat efficiency of weapon systems, as well as the personal safety of operators and the stability of weapon systems.

## Keywords

electromechanical fuse; Design; Reliability; optimize

# 机电引信设计中的可靠性优化策略

郭晨光 王少平

西安机电信息技术研究所，中国·陕西西安 710065

## 摘要

随着军事科技的飞速发展，作战环境日趋复杂，对机电引信的可靠性要求越来越高。因此，开展机电引信可靠性优化设计方法研究，不仅对提高武器系统综合性能具有重要意义，而且与现代军事科技发展相适应。在机电引信设计中，可靠性是最重要的性能指标之一，从设计、生产到服役、维护等全过程来看，可靠性是贯穿于引信全寿命周期的全过程。引信的可靠性直接影响着武器系统的命中率与作战效率，也影响着操作者的人身安全及武器系统的稳定。

## 关键词

机电引信；设计；可靠性；优化

## 1 引言

为有效提升引信应用寿命与工作稳定性，降低故障率，探索一套科学的可靠性分析方法与优化策略尤为重要。从而保障武器系统高效率运行提供有力保障，为当前相关行业热议课题。

## 2 机电引信设计中可靠性影响因素

### 2.1 复杂机电耦合环境下的多物理场交互

机电引信在应用过程中，所处环境复杂，多物理场相互作用是影响引信可靠性的一个重要因素。机电引信是一种新型的机电引信，它是一种新型的机电引信。在复杂电磁环境中，电子元器件产生的电磁场会干扰机械零部件的运

动，造成机械零部件精度降低或运动不正常<sup>[1]</sup>。同时，机械零部件的振动、冲击也会影响电子元器件的稳定性，造成信号畸变、短路、断路等故障。

### 2.2 微型化高集成度引发的应力集中与热失配

随着现代军事科技的不断进步，电子机械引信正朝着小型化、集成化方向发展。这一趋势在提高引信性能、功能密度的同时，也对可靠性提出新的要求。由于引信的小型化，使得引信的机械结构、电子元器件更加紧凑，同时由于空间的限制，应力集中问题更加突出<sup>[2]</sup>。在机械零件中，疲劳裂纹极易在应力集中的部位产生，并随时间的推移而扩展，最终导致零件的失效。电子元器件小型化设计导致芯片与电路板高度集成，受限空间内热量难以有效散发，易造成热失配等问题。不同材料具有不同的热膨胀系数，当温度发生变化时，材料间的热膨胀不一致会产生应力集中，从而影响电子器件的电学性能及力学稳定性。另外，高集成度的设计也导致引信内部的散热问题更为复杂，局部过热可能导致器件性能退化，甚至失效。

【作者简介】郭晨光（1992-），男，中国陕西咸阳人，硕士，助理研究员，从事机电引信总体设计研究。

【作者简介】王少平（1992-），男，中国陕西咸阳人，硕士，工程师，从事引信工艺设计及试制研究。



图 1 应力集中与热失配分析

### 2.3 长期贮存期间化学—机械协同老化机理

长时间贮存过程中，机电引信受化学与机械因素共同作用，其共同老化机制是影响引信可靠性的重要因素之一。从化学角度讲，引信内的物质可能与空气中的氧、湿等发生化学反应，使其性能退化。如金属零件可能被氧化侵蚀，塑胶零件可能因老化而变脆。这些化学变化不仅影响材料的力学性能，而且可能引起器件绝缘性能的降低，从而增大短路的危险。从力学角度看，长时间的静应力及微小振动都可能影响引信的可靠性。长期受力的机械零部件可能产生疲劳损伤，而电子元器件在微振动作用下可能发生接触不良、焊点断裂等现象。化学与机械因素共同作用，可使引信加速老化，降低其使用寿命及可靠性。

### 2.4 极端发射与飞行冲击载荷的动态疲劳累积

机电引信在发射、飞行过程中将承受极强的冲击载荷，其动态疲劳积累是影响引信可靠性的一个重要因素。引信在发射过程中，将承受较大的加速度及冲击载荷，对其机械零件及电子元器件造成较大冲击。机械零件可能发生变形，开裂，甚至断裂，电子元器件可能发生焊点脱落，插脚断裂等现象。同时，引信在飞行过程中也会受到气动载荷的影响，这些载荷会随飞行姿态的变化而改变，这将进一步加剧引信动态疲劳积累。动态疲劳累积可引起材料性能退化，从而影响引信结构强度与可靠性。此外，在极端发射与飞行环境中，温度、振动、冲击等多因素耦合作用下，引信可靠性也会受到复杂影响。

## 3 机电引信设计中的可靠性优化策略

### 3.1 基于故障物理的健壮参数匹配与容差设计

基于故障物理原理的鲁棒参数匹配和容错设计需要从对引信核心部件失效机理的分析入手<sup>[3]</sup>。应通过建立故障物理模型，明确不同工作状态下引信结构疲劳、元器件老化、电磁干扰引起的信号畸变等关键失效模式。综合运用热力学、电磁学等相关理论，建立引信各部件的材料性能、结构参数、应用环境等基础数据，建立故障物理方程，定量描述各部件的失效与参数变化之间的相关性。在确定引信失效模式的基础上，筛选出影响引信可靠性的关键设计参数，如弹簧弹性系数、电路电阻、传感器测试精度等。采用蒙特卡洛模拟、拉丁超立方抽样等方法，开展多维扰动实验，分析参

数波动对引信性能指标（触发精度、工作可靠度、抗干扰能力）的影响程度，确定参数灵敏度等级。在后续的鲁棒匹配中，将具有更高灵敏度的参数作为重点。下一步，实现鲁棒参数匹配，在此基础上，基于参数灵敏度分析结果，构建以平均无故障工作时间、任务成功概率等引信可靠度指标为目标函数、关键参数允许波动范围为约束条件的参数匹配优化模型。利用响应曲面和田口法联合优化敏感参数，调节参数之间的匹配关系，减小单一参数变化对系统性能的影响。如通过调节电路电阻和电容的匹配，消除因温度变化引起的时间常数漂移，提高引信计时精度的稳定性。

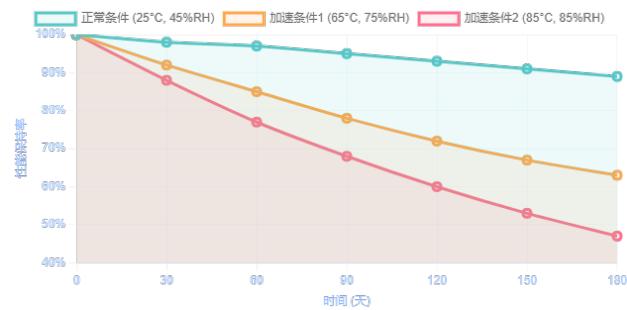


图 2 加速退化试验与寿命评估

### 3.2 多层级冗余与自适应重构的容错架构

多级冗余容错体系结构设计需要从冗余层次划分出发，应明确引信系统层次结构，将其划分为核心功能层（触发控制、安全保障等）、副功能层（电源管理、信号传输等）以及环境感知层（加速度、磁场等）。根据各层功能的重要程度，确定冗余配置策略：核心功能层采用硬件冗余和软件冗余相结合的方法，辅助功能层采用软件冗余，环境感知层采用多传感器冗余配置。进行冗余单元的部署，在硬件冗余方面，核心模块需要配备双 CPU 结构和双电源供电等备用单元，以保证在主设备出现故障的情况下可以快速切换。备份单元需要和主单元在物理上隔离，以防止并发失效。软件冗余需要将指令校验、数据冗余存储、程序自修复等功能嵌入到核心控制程序中，通过反复计算和数据校验等方法来发现和纠正软件运行过程中出现的错误。多传感器冗余需要在不同原理、不同安装位置的传感器上配置，如时配置加速度、压电式等传感器，以降低单个传感器故障带来的感知失效风险。建立自适应重配置逻辑，采用分层故障检测和定位机制，通过实时监测各单元运行状态参数（电压、电流、信号完整性、响应时间等），建立故障特征库，实现对故障单元和故障类型的快速识别。在故障定位之后，按照预先设定的重配置策略，启动相应的重配置流程：如果是硬件设备失效，启动主备切换机制，断开失效单元的连接，启动备份单元，更新系统拓扑。如果是软件逻辑上的错误，则启动程序重置或重装模块，恢复正常工作流程。当传感器数据出现异常时，启动数据融合算法，将异常数据剔除，并根据有效传感数据对状态进行评估。

### 3.3 贮存—应用全周期加速退化试验与寿命评估

储存 - 使用过程中的加速退化试验和寿命评估需要建立在全周期环境轮廓的基础上。需要对引信产品从制造到使用的整个生命周期进行梳理，包括储存（仓储、运输、储存）、服务处理（装卸、搬运）、服役（发射、飞行、目标动作）。在此基础上，通过采集贮存阶段的温湿度、振动频率、冲击加速度、气压、电磁辐射等环境参数，构建全周期环境参数矩阵，明确各个阶段的环境应力类型、幅值、持续时间和变化规律。进行加速退化实验的设计，选取影响引信性能退化的主要应力因素：温度、湿度、振动和电应力等。根据加速老化试验的原理，确定了恒应力加速、逐级加载和加速加载的方法。为保证应力水平高于实际服役环境，又不会产生新的破坏模式，需要进行理论计算。在此基础上，开展以下研究工作：（1）确定测试样本量及监测参数；（2）研究引信性能参数（触发灵敏度、信号传输率等）与退化特性参数（电阻值变化、结构形变）。然后，进行加速老化实验和数据收集，根据试验方案，将引信试件置于加速加载环境下，利用传感器实时获取其性能参数及劣化参数，并记录其随时间的变化规律。在试验过程中，需要定期检测试样的性能，直到试样发生故障或性能指标在容许范围内为止。同时，需要对测试环境的稳定性进行严格的控制，以避免非目标应力对测试结果的影响，保证测试结果的准确与可重复性。实验完成后，对原始数据进行预处理，剔除异常值，再经过数据平滑和归一化处理，得到归一化的降质轨迹数据。

### 3.4 智能传感与在线诊断融合的预测性维护

智能感知和在线诊断相融合的预测维护需要从构建感知系统入手针对引信结构特点及任务要求，采用基于分布式智能传感器网络的方案。传感器的种类要涵盖力学、电子和环境等多个方面，如用于监测结构应力的应变片，用于检测电子元件工作温度的温度传感器，用于检测电路运行状态的电流传感器，用于检测机械运动稳定性的振动传感器。为满足引信在狭小空间和苛刻环境下的安装要求，传感器必须小型化，低功耗，抗干扰。同时，还需要在传感器上加装

数据预处理模块，对信号进行滤波、放大和 A/D 转换，以保证采集到的数据真实有效。构建实时数据的传输和存储机制；感知数据需要通过有线（如排线）或无线（如短程射频）传输到引信中枢，在传输过程中需要对数据进行加密校验，以防止数据丢失或被篡改。中央处理单元需要具有数据缓存功能，用于暂时存储实时数据，并且按照预定的周期向地面监测系统（适用于可回收引信）或者内建内存（适用于一次性引信）。为方便后续的故障诊断分析，需要对数据的存储格式进行标准化，包括时间标记、传感器标识和参数值等关键信息。建立在线诊断模型，在线诊断需要分为两个层次，一是实时监控，二是报警。实时状态监测是指通过设置一定的参数阈值，实时地对传感器数据进行比对，当参数超过正常值时，就会触发一次报警。基于支持向量机、神经网络等机器学习算法对模型进行训练，提取故障特征模式。该模型需要具有实时更新的能力，并在在线学习的基础上持续优化故障辨识的准确性，在参数没有超出临界值而呈现异常变化趋势的情况下，能够及时发出预警。

## 4 结语

综上，在机电引信设计中进行可靠性优化策略研究是具有重要意义，系统地分析并优化引信设计的可靠性，能有效地提高引信的应用寿命、抗干扰能力及环境适应能力，进而提高武器系统的综合战斗力。未来，随着新材料、新工艺、新工艺的不断出现，引信可靠性优化的可能性越来越大，要进一步完善引信可靠性设计理论与方法，促进引信技术在现代军事科技发展中的应用。

## 参考文献

- [1] 王发林,施坤林,汪仪林,宁波.评价机电引信设计安全性的基本要素[J].探测与控制学报,2025,47(01):33-40.
- [2] 刘伟钊,李蓉.基于性能退化的机电引信部件贮存寿命评估方法[J].探测与控制学报,2022,44(03):17-21.
- [3] 武澎,王森,马兵,井会锁,刘奇.机电引信滚动轴承外圈局部磨损间隙故障建模方法[J].探测与控制学报,2022,44(02):6-10.

# Common faults and treatment methods in mechanical hydraulic devices by

Lingyue Ma

Steel Pipe Branch Company, Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014010, China

## Abstract

Mechanical hydraulic systems play a vital role in industrial automation and high-load operations, where operational stability directly impacts equipment efficiency and service life. This paper examines the structural composition and working mechanisms of hydraulic systems, identifies common failure types, and focuses on analyzing manifestations and causes of pressure anomalies, actuator failures, and sealing system issues. Building on this foundation, it systematically outlines diagnostic procedures and troubleshooting methods for various common faults while proposing targeted technical improvements. Additionally, from a preventive maintenance perspective, the paper explores effective approaches to establishing scientific maintenance protocols and early-warning mechanisms. These efforts aim to enhance operational reliability and safety of mechanical hydraulic systems, providing theoretical support and technical references for equipment management and O&M practices.

## Keywords

Hydraulic system; Fault diagnosis; Pressure anomalies; Sealing failure; Maintenance mechanisms

# 机械液压装置中常见故障与处理方法

马凌越

内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管分公司，中国·内蒙古 包头 014010

## 摘要

机械液压装置在工业自动化与高负载作业领域中具有重要地位，其运行的稳定性直接影响设备效率与使用寿命。本文围绕液压系统的结构组成与工作机理，梳理典型故障类型，重点分析压力异常、执行元件失灵与密封系统问题的表现形式与成因。在此基础上，系统归纳了各类常见故障的诊断流程与处理方法，提出有针对性的技术改进措施。同时，从预防性维护角度出发，探讨建立科学维护制度和故障预警机制的有效路径，旨在提升机械液压装置运行的可靠性与安全性，为相关设备管理与运维实践提供理论支撑与技术参考。

## 关键词

液压系统；故障诊断；压力异常；密封失效；维护机制

## 1 引言

随着机械装备智能化与自动化水平的持续提升，液压技术在工程机械、制造装备及交通运输等多个行业中得到了广泛应用。液压装置以其传动平稳、功率密度高、操控灵活等优势，成为关键系统运行的重要支撑。然而，在实际运行过程中，由于液压系统结构复杂、受力环境严苛，加之部分装置维护不到位，常出现一系列故障问题，影响设备的正常运行和生产安全。故障的隐蔽性与多因性使其诊断与处理成为维修技术的难点。本文旨在通过对机械液压装置常见故障现象及其成因的系统梳理，结合实践中有效的处理手段与预防策略，探讨提升设备稳定性的可行路径。

【作者简介】马凌越（1997-），男，中国内蒙古包头人，本科，助理工程师，从事机械研究。

## 2 液压系统基础构成与工作原理

### 2.1 液压能源转换与动力传递机制

液压系统通过将机械能转化为液体的压力能，实现对执行机构的控制与驱动。液压泵在外力作用下将液压油从油箱中吸出，并以一定压力输送至系统管路，形成稳定的液流。在控制元件调节下，压力油流经各功能阀门进入执行元件，完成能量传递与机械运动的实现。通过液压介质的连续流动，能量得以在系统各部分之间高效传导，并在压力与流量调节过程中实现对工作状态的精细控制。液压传动具有响应迅速、传动平稳、操作便捷等特性，广泛应用于对精度与力量控制要求较高的作业场景，其核心在于压力的有效转换和流量的精准调配。

### 2.2 主要部件构造与功能解析

液压系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和工作介质构成，各组成部分相互协调以完成能量转换与

动作执行。动力元件主要为液压泵，其作用是将机械能转化为液压能。执行元件包括液压缸和液压马达，用于完成直线或回转运动。控制元件包括压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等，用以调整系统压力、控制流速与改变油液流动方向。辅助元件如油箱、滤油器、冷却器等，保障系统正常运行并延长元件寿命。工作介质通常为特定型号的液压油，在系统中起到传递能量、润滑、冷却与密封等多重作用。各部分合理配置与配合程度直接决定系统性能与运行效率。

### 2.3 典型液压回路形式与控制逻辑

液压回路是指液压油在各元件之间流动的路径组合，其结构形式与控制逻辑对系统功能实现起决定作用。常见回路包括开式系统与闭式系统，其中开式回路以液压泵和控制阀分离布置为特征，适用于一般执行机构控制需求。闭式回路则强调能量回收与动态响应，常见于高性能运动控制装置。控制逻辑依据工况需求设定，通常通过串联、并联与叠加方式实现动作切换、流量调节与压力控制。多种控制方式可结合应用，包括电液比例控制、定压控制与负载敏感控制等。合理的回路设计不仅提升执行效率，还能有效避免能量浪费与系统过载，确保液压装置在复杂工况下实现稳定运行。

## 3 液压故障排查的安全性与管理必要性理论分析

### 3.1 设备全生命周期视角下的风险预控理念

从设备全生命周期角度分析，液压系统的运行安全与故障排查贯穿于设计、制造、安装、运行、维护、报废等全过程管理中。液压装置的故障往往不是瞬时发生，而是在长期使用过程中因微小隐患积累、系统性磨损或润滑失衡等诱因形成的，因此需要建立覆盖生命周期各阶段的预控体系。在设计阶段引入失效模式分析和冗余设计理念，在运行阶段实施在线监测与趋势分析，在维护阶段落实标准化检修流程和记录管理制度，可实现对液压系统潜在故障的前移控制。生命周期风险管理不仅有助于保障人员与设备安全，还能延长液压系统使用年限，降低突发性维修成本。以风险为导向的管理方式已成为现代设备管理理论中的关键理念，对钢铁企业机械液压系统的安全性保障具有理论和实践双重意义。

### 3.2 精益运维理念在液压故障预防中的适用性探讨

精益运维理念强调在确保设备可用性的前提下，最大限度减少冗余资源与非增值活动，其核心在于通过科学的管理流程减少故障发生概率。在机械液压系统管理中，精益运维通过建立标准化点检、定量分析数据、流程再造与持续改进机制，实现从事后修复向事前预防转型。液压系统的运行状态可通过流量、压力、温度等关键参数进行实时采集与趋势分析，进而识别潜在隐患并提前进行干预。通过引入定期润滑、精密过滤、油品定性检测等方式，可有效延缓系统磨损与老化。精益运维的实施不仅降低了不必要的备件储备与人工维护频次，还提升了运维效率与人员专业化程度，为液

压系统提供了更经济高效的预防性管理模式，契合现代钢铁企业对设备管理精细化的要求。

### 3.3 安全生产管理体系对液压故障响应机制的驱动作用

安全生产管理体系的构建对液压故障处理提出了系统化响应要求，其核心在于通过制度驱动提升故障响应的及时性、科学性与规范性。液压系统作为压力型设备，其故障风险具有隐蔽性、突发性和连锁性特点，若未在初期阶段进行有效识别与处置，极易引发设备损毁、油液喷溅甚至火灾等事故。建立基于风险评估的分级预警体系，结合岗位职责明确的应急处置预案，有助于在故障初现时实现迅速隔离与妥善处理。配套的信息记录与反馈机制能将历史故障转化为知识资源，为类似故障提供借鉴。安全生产管理不仅仅关注事故预防，更重视风险过程控制和响应闭环，其在液压系统中的具体表现包括巡检频率优化、操作培训强化、故障诊断流程标准化等方面，是驱动液压系统故障治理体系完善的制度基础。

## 4 机械液压装置常见故障类型分析

### 4.1 系统压力异常：压力不足、过压、波动失稳

液压系统的压力稳定性是维持机械装置正常运行的关键要素。压力不足往往源于泵站供油能力下降、调压阀设定不当或管路堵塞，使系统无法维持设定的工作压力。过压现象多与溢流阀失效、负载突变或系统反应滞后相关，可能导致密封件破裂和部件损伤。压力波动失稳则常由油液温升、空气混入、传感器失真等因素引发，直接影响执行元件的重复精度与响应性能。压力异常不仅降低系统的控制能力，还加速液压元件的疲劳与老化，增加能耗与维护负担。在连续作业负载变化频繁的生产线上，压力不稳定容易造成设备动作失衡，影响加工过程的节奏与成品质量，成为系统运行中的高风险故障类型。

### 4.2 液压执行元件失灵：油缸爬行、动作缓慢、卡滞

液压执行元件是将液压力能转换为机械能的关键环节，其运行状态直接决定了整个系统的控制精度与工作效率。油缸爬行现象通常由密封件磨损、空气混入或节流孔堵塞引起，造成运动不连贯、速度不均匀。动作缓慢可能是由于油温过高导致粘度降低、系统流量不足或节流阀设定不合理所致。卡滞现象则可能源于滑动部位配合间隙变化、杂质进入或导向装置损坏，导致执行元件在行程中断位停滞。这些故障的存在严重干扰自动化作业流程，影响产品尺寸精度和节拍控制，同时也增加对操作人员的干预依赖。长期失灵运行还可能引起连接部件疲劳损伤，引发更大范围的设备故障与安全隐患。

### 4.3 液压系统泄漏与污染：接头渗油、密封失效、油液劣化

液压系统中泄漏与污染问题具有普遍性和持续性，严重威胁系统的运行稳定与环境安全。接头渗油常因连接处螺

纹松动、密封件老化或管路振动疲劳造成，形成外部油液泄露，不仅污染设备环境，还存在火灾隐患。密封失效可能因温度冲击、压力脉动或材料老化引起，导致系统内部泄漏，损害压力控制精度与执行效率。油液劣化则包括水分混入、颗粒污染和氧化变质等问题，使液压油粘度下降、润滑性能减弱，加速泵、阀等部件磨损，进而诱发连锁性机械故障。污染物在系统中循环流动，极易造成阀芯卡滞、孔口堵塞等二次损伤。液压污染问题的隐蔽性强，若不及时发现和治理，将导致设备寿命缩短与维护频率增加。

## 5 机械液压装置系统常见故障的处理方法分析

### 5.1 压力异常故障的处理方法分析

处理液压系统的压力异常故障应从源头供压装置、压力控制元件与系统参数设定等方面展开。对压力不足问题，需对液压泵的输出能力进行检测，检查电机转速与吸油条件，必要时更换磨损严重的泵体或滤清器。针对系统过压，需校验溢流阀设定值是否超限，排除阀芯卡滞、弹簧疲劳等问题，同时检查压力表与传感器的精度和灵敏度。压力波动失稳则应重点排查回油回路是否畅通，检查是否存在气蚀现象或油液中含气问题，并确保油温处于合理区间。操作过程中还应加强对系统参数的实时监测，建立与工况匹配的压力调节机制，保持系统压力在设定区间内稳定波动，防止因异常波动引发结构损伤与故障扩散。

### 5.2 执行机构故障的处理方法分析

液压执行机构故障处理应聚焦于部件恢复、运动精度修复与运行平衡控制。油缸爬行的处理包括更换磨损密封件、清理节流通道、放气排除空气并重设行程控制装置。针对动作缓慢的情况，可调整节流阀开度、优化管路布置，检视泵站输出是否稳定，必要时更换流量不足的液压泵或调节供油顺序。卡滞故障处理需解体检查导向件和缸筒内部，清除异物、杂质或氧化物残留，并检查运动副表面是否发生偏磨或拉伤。操作策略上应保持负载与速度匹配，避免突发高频启停。定期检测执行元件位置精度，结合数据分析判断其

老化趋势，对存在潜在失效风险的组件提前更换，保障执行机构在重载、长行程条件下持续稳定运行。

### 5.3 泄漏与污染故障的处理方法分析

液压系统泄漏与污染问题的处理应遵循密封恢复、油液净化与防护加强的原则。接头渗油故障应通过逐点排查连接部位，重新紧固松动件，更换老化 O 型圈或锥面密封圈，必要时对管接头进行重配。密封失效处理需依据工作介质、温度与压力条件选用适配密封材料，对装配公差和安装方向进行严格控制。油液劣化则需通过油样化验分析污染物成分，判明水分、颗粒或氧化程度，对严重变质油液进行更换，并清洗油箱与管路系统。设置合适精度等级的过滤器，定期更换滤芯并监控其压差报警，能有效防止污染物循环扩散。建立液压油定期检测机制和污染分级管理制度，有助于提升系统清洁度，延缓元件磨损并减少故障频率。

## 6 结语

机械液压装置作为钢铁企业关键设备的核心组成，其运行状态直接影响生产线的稳定性与产品质量。通过系统分析液压系统中常见的压力异常、执行元件失灵以及泄漏与污染问题，不仅能够提升故障识别的准确性，也为制定高效处理策略提供理论支持。加强液压装置的日常管理、建立科学的排查机制、落实定期维护制度，将有助于降低故障率、延长设备寿命和优化生产节奏。未来应持续推动液压系统运维体系向智能化、标准化方向发展，进一步夯实钢铁企业设备保障基础，提升整体制造水平与安全运行能力。

## 参考文献

- [1] 孙奥雷.矿山机械设备常见液压系统故障分析[J].矿业装备, 2025,(05):187-189.
- [2] 司品位.船舶液压甲板机械的维修保养策略分析[J].船舶物资与市场,2025,33(03):67-69.
- [3] 杜冰.机械液压系统常见故障及其维护保养[J].锻压装备与制造技术,2024,59(01):72-74.
- [4] 王瑜.工程机械液压系统常见故障的原因分析及对策——评《工程机械液压与液力传动》[J].铸造,2021,70(10):1258.

# Application of a Defect Localization Formula in Real time Digital Imaging of Solid Propellants

Fengyun Dai

Jiangxi Aerospace Jingwei Chemical Co., Ltd., Ji'an, Jiangxi, 343712, China

## Abstract

Radiographic testing, as an important non-destructive testing technique, is mainly used to detect various volumetric defects such as pores, inclusions, cracks, etc. inside the inspected object. Digital real-time imaging technology, as a type of radiographic testing, is widely used in the detection of solid propellants. This article discusses a special situation encountered in the detection of solid propellants using digital real-time imaging, and derives a defect localization formula from this situation.

## Keywords

Real time imaging of solid propellant defect localization

# 一种缺陷定位公式在固体推进剂数字实时成像中的应用

戴风云

江西航天经纬化工有限公司，中国·江西吉安 343712

## 摘要

固体推进剂的生产过程中，会产生诸如：气孔、夹杂、疏松、裂纹等缺陷。在固体推进剂的质量控制过程中，射线检测成为一种必不可少的一种质量控制手段。射线检测作为一种重要的无损检测技术，主要应用于检测被检物体内部存在的各种体积型缺陷，诸如气孔、夹渣、裂纹等。数字实时成像技术作为射线检测其中的一种，广泛应用于固体推进剂的探伤中。本文讨论了数字实时成像在检测固体推进剂时，遇到的一种特殊情况，由该种情况推导出一种缺陷定位公式，从而不仅对缺陷进行了定性定量分析，还对缺陷进行了定位，为后期的无损检测评价及质量分析提供了依据。

## 关键词

实时成像；固体推进剂；缺陷；定位

## 1 引言

固体推进剂作为固体火箭发动机的重要动力来源，其内部的质量直接影响固体火箭发动机的性能。固体推进剂装药内部常见的缺陷主要有气孔、夹杂、疏松、裂纹等。不同的缺陷性质、数量及位置，其危害性也不同。因此，对缺陷的定性定量和定位分析，就显得尤为重要。笔者在实际射线检测过程中，遇到一种较为特殊的气孔缺陷，在认真分析成像原理后，利用不同放大比，求解出缺陷的位置，并给出了定位公式，对于解决相关类似问题，提供一定的参考价值。

## 2 X 射线数字实时成像技术概述

### 2.1 X 射线的产生原理<sup>[1]</sup>

X 射线管是用来产生 X 射线的装置。它由阴极、阳极和真空玻璃（或金属陶瓷）外壳组成，其简单结构和工作

原理如下图 1-1 所示。阴极通过电流加热至白炽状态时，其阳极周围形成电子云，当阳极与阴极之间施加高压时，电子加速穿过真空空间，高速运动的电子束轰击阳极靶，电子被阻挡减速和吸收，其约 1% 的动能转化为 X 射线，其余 99% 以上的能量变成热能，这种产生 X 射线的现象称为轫致辐射。

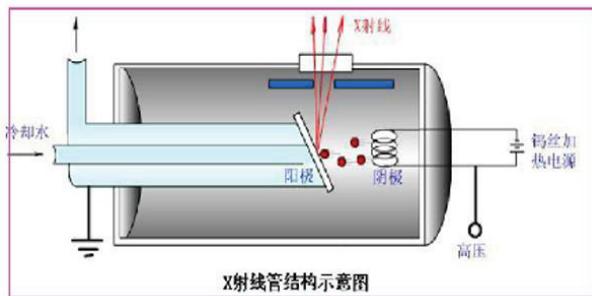


图 1-1 X 射线管结构示意图

【作者简介】戴风云（1990-），男，中国江西吉安人，本科，助理工程师，从事无损检测研究。

### 2.2 X 射线照相检测的原理

X 射线在透照工件时，X 射线能量会在工件内部衰减。

因为射线能量衰减程度与工件密度和厚度有关，从而使得有缺陷部位与无缺陷部位对射线能量的衰减程度不同，因而使得透过有缺陷部位与无缺陷部位的射线强度不同。底片的不同黑度反映了不同的射线能量强度，一般来说，黑度越大，则透过的射线能量越高，可通过底片上不同黑度的影像来显示缺陷。如图 1-2 所示。

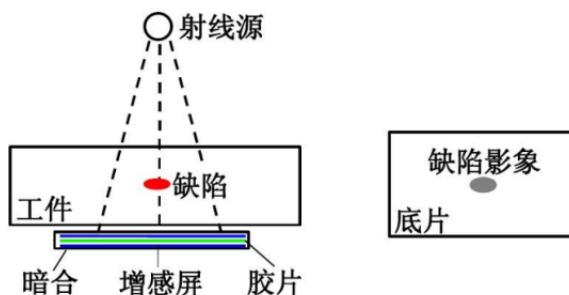


图 1-2 射线照相原理示意图

### 2.3 数字化成像技术的简介

X 射线胶片成像是一种应用最广泛和最基本的检测方法。由于胶片成像不能满足实时成像、实时检测、实时评估的要求，X 射线实时成像技术便应运而生。它和胶片成像的最大区分就是用射线敏感器件代替胶片成像，转化为人眼直接观测的可见光图像或转换为电信号后在电视或计算机屏幕上观测。

随着计算机技术的发展，伴随着功能强大的图像处理软件和射线探测器的发展，数字图像和实时检测有了更广泛的应用。射线实时成像方法是将有关 X 射线透照后的信号转换为电信号后输出在电视或计算机屏幕上。目前平板探测器就承担了这个角色，其将 X 射线透照后的信号转换为电信号后输出在计算机屏幕上，屏幕能够实时的显示工件透照后的图像<sup>[2]</sup>。

## 3 固体推进剂概述<sup>[3]</sup>

固体推进剂是一种具有特定性能的含能复合材料，是导弹、空间飞行器的各类固体发动机的动力源，是固体火箭发动机的动力源用材料，在导弹和航天技术发展中起着重要的作用。在固体推进剂生产的过程中，有可能会产生夹渣、气孔、裂纹等体积型缺陷。因此，X 射线检测方法在检测固体推进剂内部缺陷具有得天独厚的优势，故而成为固体推进剂检测当中必不可少的检测方法。

发动机是由壳体、耐热内衬（绝热层、衬层）、固体推进剂、喷管及点火装置组成，如下图 2-1 所示。

X 射线检测主要检测固体推进剂中：壳体与绝热层的粘接情况、

衬层与固体推进剂的粘接情况、固体推进剂内部情况等。

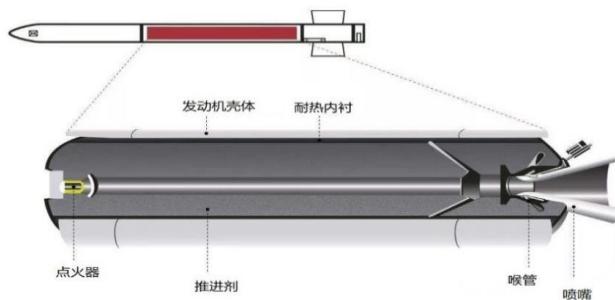


图 2-1 发动机机构造图

## 4 公式的推导概述

### 4.1 检测情况概述

X 射线机为固定式射线机，平板探测器也固定在射线机对面，故而焦距不可调。固体推进剂为圆柱状，将固体推进剂吊装至射线机与平板探测器之间的支撑滚轮上，滚轮距可变，但轮距中心位置不变。检测示意图如图 3-1 所示。



图 3-1 检测示意图

当固体推进剂中心存在通孔时，射线束穿过推进剂时（如图 3-2 所示：通孔直径为  $r$ ，推进剂直径为  $R$ 。注：通孔圆心与推进剂圆心重合），考虑到对称性，以上部分为模型，0 点以水平方向为基准，射线透照的厚度具有如图 3-3 所示变化。

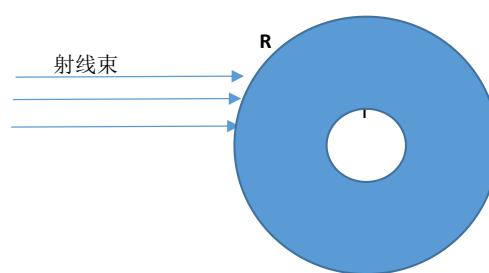


图 3-2 具有通孔的推进剂截面示意图

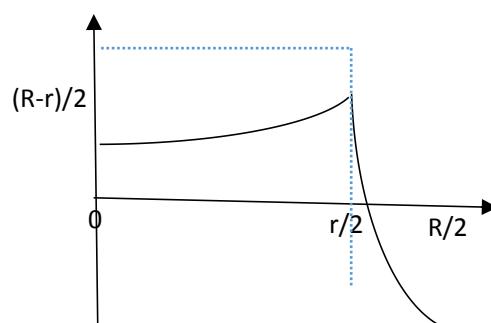
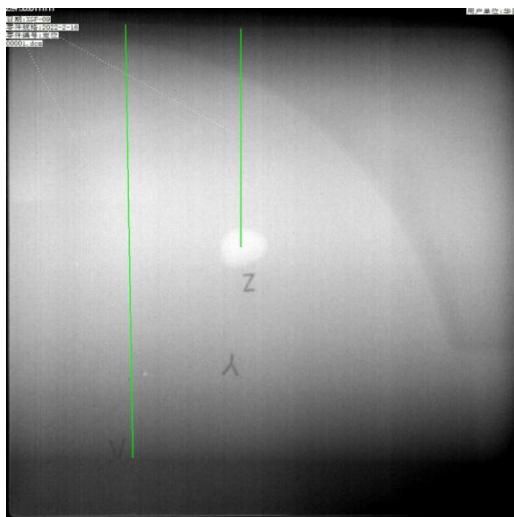


图 3-3 射线透照厚度示意图

从 3-3 所示图中可知，当射线以通孔相切时，透照厚度最大，此时该方向上的缺陷检测灵敏度最低。当推进剂内存在一个靠近通孔的缺陷时，此时将缺陷旋转至与通孔圆心水平时，检测灵敏度最大，如果此时的灵敏度已经是系统的临界灵敏度，则缺陷只能在此位置发现。

在实际情况中，使用 450kV 射线机进行 X 光探伤时，出现一种扁平状气孔，当该气孔在固体推进剂通孔成像区域时，该气孔能够被发现，在其他位置时，则不能够发现。



3-4 气孔影像在推进剂通孔中心

记录气孔在靠近探测器时的直径  $L$ ，在射线源侧时的成像直径  $L'$ ，已知焦距  $F=800\text{mm}$ ，通孔中心到探测器距离为  $D_f=225\text{mm}$ ，则  $x=\frac{(F-D_f)(L'-L)}{L'+L}$ ， $x$  为缺陷到通孔中心的距离。

在实际测量中  $L=12\text{mm}$ ， $L'=18\text{mm}$ ，将以上数据代入公式可得  $x=115\text{mm}$ 。此时，气孔的位置为：距通孔中心  $115\text{mm}$ ，即完成气孔的定位。

该定位公式适合于在检测中心有通孔的圆柱体，在检测该类工件时，因透照厚度的变化，导致不同旋转位置，检测的灵敏度不一致，导致只有在某特定部位才能检测出的情况。

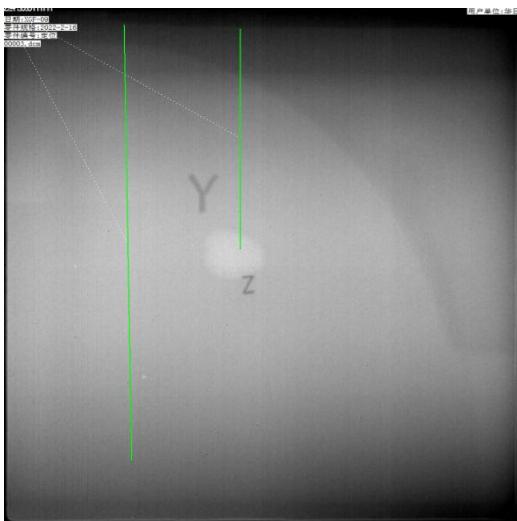
## 5 结语

众所周知，固体火箭发动机工作失效将带来灾难性事

## 4.2 实施方法

1. 在探测器中心位置贴上“Z”形铅字；
2. 调节射线机与探测器位置，使探测器中心、通孔中心、射线机焦点处于同一水平线上，然后打开射线机；
3. 将固体推进剂旋转，使得气孔在探测器上的影像在通孔中心，如下图 3-4 所示：

旋转固体推进剂  $180^\circ$ ，气孔在探测器上的影像再次在通孔中心，并且被放大或缩小，如图 3-5：



3-5 气孔影像再次在推进剂通孔中心

故和巨大的社会、经济损失。 $X$  射线检测经过多年的发展，已经成为降低和规避固体火箭发动机质量风险行之有效的方法，是提高和稳定发动机质量的重要手段<sup>[4]</sup>。笔者针对上述特殊缺陷，进行了原因分析，并成功解决该缺陷的定位难题，有一定的实用价值。

## 参考文献

- [1] 罗余庆.焊接缺陷X射线实时成像检测系统的研究[D].辽宁工程技术大学,2002.
- [2] 程耀瑜.工业射线实时成像检测技术研究及高性能数字成像系统研制[D].江苏省:南京理工大学,2003.
- [3] 李涛,张乐,赵锴,等.固体火箭发动机缺陷分析及其无损检测技术[J].无损检测,2006,(10):541-544.
- [4] 贾庆龙,曹勤峰,陈永钊,等.固体火箭发动机燃烧室射线检测缺陷评判与典型影像[J].兵工自动化,2014,33(05):78-83.

# Construction and optimization of drug regulatory inspection risk early warning mechanism based on big data

Yuehua Huang

Comprehensive Law Enforcement Team of Market Supervision and Administration, Dongchao Economic and Technological Development Zone, Ningde, Fujian, 352100, China

## Abstract

Drug quality directly impacts public health and safety, making the development of risk early-warning mechanisms for pharmaceutical supervision increasingly imperative. Confronted with limitations in traditional regulatory models—including insufficient testing samples, delayed data updates, and inefficient information flow—that fail to keep pace with the pharmaceutical industry's rapid expansion, innovative reforms are urgently needed. This study leverages big data technology to explore new pathways and optimization strategies for building drug regulatory inspection risk warning systems. By integrating multi-source data resources, we achieve comprehensive coverage of testing samples and real-time data updates, breaking down information barriers to establish an efficient and precise early-warning framework. These measures aim to enhance drug safety supervision effectiveness, strengthen public health safeguards, and drive high-quality development in the pharmaceutical industry.

## Keywords

drug regulation; big data; risk early warning; inspection mechanism; index system

# 基于大数据的药品监管检验风险预警机制构建与优化

黄月花

东侨经济技术开发区市场监督管理综合执法大队，中国·福建宁德 352100

## 摘要

药品质量关乎公众生命健康，其监管检验风险预警机制的建设紧迫性日益凸显。面对传统监管模式中检测样本有限、数据更新缓慢及信息流通不畅等弊端，难以匹配医药产业迅猛发展的现状，亟需创新变革。本文依托大数据技术，深入探索药品监管检验风险预警机制的构建新路径与优化策略。通过整合多源数据资源，实现检测样本的全面覆盖与数据的实时更新，打破信息壁垒，构建起高效、精准的预警体系。此举旨在提升药品安全监管效能，为公众健康筑起坚实防线，推动医药产业高质量发展。

## 关键词

药品监管；大数据；风险预警；检验机制；指标体系

## 1 引言

随着我国医药产业规模扩大和药品种类增加，药品质量安全监管难度持续上升，传统依赖定期抽检与人工巡查的模式已难以满足需求<sup>[1]</sup>。信息碎片化、数据滞后和监管资源不足问题尤为突出。构建科学高效的药品监管检验风险预警机制已成为保障药品安全的重要任务。大数据技术在药品监管中展现出整合多源信息、精准发现风险的优势，但目前应用仍处于起步阶段，存在平台建设滞后、数据共享不畅、技术应用深度不足等问题。

**【作者简介】**黄月花（1990—），女，中国福建宁德人，本科，执业药师，从事药品监管、行政执法，药品相关GMP等研究。

## 2 药品监管检验风险预警机制建设的必要性分析

### 2.1 药品市场规模扩大带来的监管压力增长

近年来我国医药产业迅猛发展，药品市场规模持续扩张。截至 2024 年底，全国规模以上医药制造企业 9793 家，医保目录内药品总数 3159 种，类别多样。药品产业链条长、参与主体多，从研发到销售环节众多，质量控制与监管难度大增。现代医药市场销售模式呈现多渠道、多平台、多样化特点。除传统渠道，网络销售、跨境电商等新型模式不断涌现，使药品流通范围更广、销售链条更灵活。但这也产生了监管盲区与漏洞，假药等风险事件发生概率上升。面对庞大复杂的药品市场，传统监管模式力不从心。监管人员有限，难以全覆盖、全天候监管；信息采集处理手段滞后，监管信息反馈慢，预警和应急响应能力欠缺。因此，引入高效智能

的信息化手段迫在眉睫。借助大数据分析、人工智能和云计算等现代技术，可提升药品监管检验能力，推动药品监管整体水平迈向新台阶<sup>[2]</sup>。

## 2.2 药品安全事件频发暴露出监管机制不足

近年来，国内外药品安全事件频发，假药流通、劣药及不合格药品流入市场等问题屡禁不止，暴露出当前药品监管机制存在诸多短板。部分药品企业在生产环节标准执行不严，质量检测走过场；流通环节中，一些中小企业为逐利忽视合规，违法违规药品充斥市场。

以 2019 年某地降压药品杂质超标事件为例，事发前相关批次药品已大量流入市场，事后召回不仅成本高昂，还造成广泛影响。此类事件凸显了现行药品监管检验体系的不足：抽检覆盖率有限，受监管资源制约，抽样检查难以全面掌握市场状况，高风险领域和边远地区成为监管盲区；数据更新不及时，传统监管依赖线下录入和人工报表，信息采集与传递缓慢，无法适应市场动态变化，导致监管决策滞后；风险识别能力欠缺，缺乏科学系统的动态风险评估与预警机制，难以对潜在风险进行前瞻性监控和早期干预。

在此背景下，构建一个全面、动态且具有前瞻性的风险预警机制，成为破解药品监管难题、保障公众用药安全的关键所在，亟待通过技术创新和制度完善加以推进。

## 2.3 大数据技术为风险预警机制提供技术支持

大数据技术凭借从海量、多源、异构数据中提取有价值信息的能力，以及强大的关联分析与模式发现优势，为药品监管检验领域建立现代化风险预警机制提供了坚实的技术支撑<sup>[3]</sup>。

在数据采集上，大数据技术打破了传统局限。它能整合生产企业、销售平台、药品批发企业、医院、药监部门以及社会舆情等多渠道信息资源。借助物联网设备、智能终端和在线平台，可实现药品从生产到使用全过程的数据自动化采集与实时上传，让监管数据更全面、及时。

数据处理与分析环节，大数据技术借助机器学习、自然语言处理等技术，对药品质量检测报告、消费者投诉信息等数据进行深度挖掘。比如通过关联分析，若发现某类药品在特定区域投诉异常增多，就能将其作为潜在风险信号，提前介入调查。

风险预测与预警方面，基于历史与实时数据结合的大数据模型，能动态监测药品风险趋势。通过建立风险评分体系和预警模型，自动划分异常等级并提示风险，助力监管部门快速响应、精准治理。

与传统依赖“经验判断”和“人工分析”的监管手段相比，大数据技术更客观、全面、实时。它以数据为依据，解决了传统方法主观性强、反应滞后等问题。

以大数据为核心构建药品监管检验风险预警机制，符合监管现代化、科学化、智能化要求。它能提高监管覆盖率，实现全链条、全过程、全区域监管；提升风险识别精准度与

响应速度，降低药品安全事件发生几率；降低人工与管理成本，提高监管效率；还能增强公众对药品安全保障体系的信心，推动医药产业健康发展。

## 3 药品监管检验风险预警指标体系构建方法

### 3.1 多维度数据来源整合策略

药品监管风险预警指标体系的构建，首先需要建立全面、权威的数据基础。数据来源主要包括以下几类：一是生产企业数据，涵盖生产许可证信息、历史检查记录、产品抽检结果等；二是市场流通数据，包括销售渠道、销售量、价格波动、退货情况等；三是使用终端数据，主要指医院和药店的用药记录、不良反应报告等；四是社会舆情数据，包含消费者投诉、媒体报道、网络舆论等；五是监管部门内部数据，如历年监管检查、处罚信息及案件调查结果。这些数据来源分布在不同部门与平台，存在较强的异构性与不一致性。因此，必须通过数据标准化、格式转换与接口开发实现统一整合，确保数据的完整性与时效性。

### 3.2 风险预警指标筛选与权重确定方法

在明确数据来源基础上，需对风险预警指标进行科学筛选与合理赋权。指标筛选应遵循相关性、可测性、敏感性三项基本原则。首先通过专家问卷调查法与文献调研法初步确定候选指标集，包括生产违规率、产品不合格率、流通环节投诉率、不良反应发生频率等<sup>[4]</sup>。随后采用统计分析与机器学习方法进行指标优选，例如利用主成分分析减少指标维度，利用随机森林模型评估指标重要性。最终形成涵盖生产、流通、使用、舆情与历史监管五大类、二十余项细化指标的风险预警体系。为实现指标综合评估，需要通过 AHP（层次分析法）、熵值法等方法对各指标赋予合理权重，确保评价结果的科学性与权威性。

### 3.3 动态预警模型设计与实现路径

基于筛选后的指标体系，需构建具有自学习能力的动态风险预警模型。模型设计以混合型人工智能算法为核心，结合逻辑回归、支持向量机与神经网络等多种技术，提高模型稳定性与预测准确率。模型输入为多维指标数据，输出为药品风险等级或概率值。为增强模型适应性，需引入时间序列分析与动态阈值调整机制，根据市场波动与历史数据变化自动优化模型参数。此外，模型应具备在线学习能力，能够随着新数据的持续输入不断调整自身结构，提升预警结果的时效性与可靠性。实现路径包括模型开发、平台搭建与用户界面设计三部分，最终形成集数据整合、指标分析、风险预警与决策支持于一体的综合监管平台。

## 4 基于大数据的风险预警机制应用效果实证分析

### 4.1 实证案例选取与数据说明

为切实检验以大数据为核心构建的药品监管检验风险预警机制的实际效果，我们精心选取了某省药监局 2021 年

至 2023 年的药品抽检与不良反应数据作为实证样本。该样本数据极为丰富，覆盖了 5000 余家药品企业，包含 12 万条药品检验记录以及数千条不良反应报告。在此基础上，进一步整合社会舆情数据与市场销售信息，构建起一个全面且完整的数据集。

在评估过程中，我们采用对比分析的方法，将机制应用前后的监管效果进行细致比对。重点考察该机制在风险识别方面的精准度，能否更及时、准确地发现潜在药品安全风险；在响应速度上，是否显著缩短了从风险发现到采取应对措施的时间；在资源配置方面，是否实现了更科学合理的资源调配，避免资源浪费。通过这一系列评估，全面衡量新机制对提升药品监管水平的实际作用。

## 4.2 预警机制应用效果评价结果

实证结果有力地证明了，基于大数据构建的风险预警机制为药品监管工作带来了显著提升。在风险识别方面，该机制成效斐然，准确率大幅跃升，尤其在问题药品的早期察觉上表现突出，能够在萌芽阶段就将潜在风险揪出，为后续监管争取宝贵时间。

风险响应速度也得到极大优化，这使得监管部门在面对药品安全风险时，能够更迅速地做出反应，应急处置能力显著增强。

此外，在资源配置上，借助该机制实现了“高风险优先”的检验策略，抽检安排更加科学合理，节约了检验成本。随着监管效能的提升，社会公众对药品安全的满意度不断提高，企业的合规意识也同步增强，整个行业的风险水平呈现出逐年下降的良好态势，为药品市场的健康稳定发展奠定了坚实基础。

## 4.3 机制应用中存在的主要问题分析

尽管取得积极成效，机制应用过程中仍存在若干问题。一是数据共享机制不完善，数据孤岛现象突出，各级药监部门、医疗机构、企业数据系统独立建立，医院用药记录、药品价格波动信息获取困难，影响模型完整性。二是技术平台建设、智能化设备采购和维护成本高，对地方监管机构形成一定负担。三是专业技术人才储备不足，影响机制推广效果。四是安全防护机制不完善，存在敏感数据泄露风险。上述问题说明，机制优化仍需从政策、技术与人才三方面同步推进，才能实现全面推广与长期稳定运行。

# 5 药品监管检验风险预警机制优化策略

## 5.1 完善信息平台与数据共享机制

为充分释放药品监管预警机制的效能，构建国家级统一药品监管信息平台势在必行。这一平台将成为连接监管部门、企业、医疗机构以及社会公众的关键枢纽，实现各方信息的互联互通，打破信息壁垒，让药品监管数据在更广泛的

范围内流通与共享，提升信息利用价值。在平台建设过程中，要高度重视开放性与兼容性。确保能够支持多部门数据的便捷接入，并且实现实时同步更新，保证数据的时效性和准确性，为预警机制提供坚实的数据支撑。此外，完善的法律法规是平台健康运行的保障。应尽快出台相关法律法规，清晰界定数据共享过程中各方的责任与义务，对数据使用行为进行严格规范，防止数据滥用和泄露。通过法律手段切实保障数据安全与公民隐私权益，让各方在参与信息共享时无后顾之忧，共同推动药品监管预警机制发挥更大作用，守护公众用药安全。

## 5.2 推动监管协同与人才培养体系建设

药品监管工作复杂且艰巨，单靠某一部门或行业难以有效应对，必须跨部门、跨行业协同发力。为此，要积极推动药监、卫健、工信等多部门构建联合监管机制，打破部门间的信息壁垒，实现信息共建共享。如此一来，当药品出现风险隐患时，各部门能够迅速联动响应，形成强大的监管合力，及时遏制风险扩散。

人才是机制长期稳定运行的核心要素。当前，要加大专业人才培养力度。高校应发挥教育资源优势，开设与药品监管相关的专业课程，为学生奠定坚实的理论基础。企业可设立实训基地，让学生在实际工作场景中积累实践经验。政府则需提供专项资金支持，保障人才培养工作的顺利开展。通过多方共同努力，培养出一批既懂技术、又懂监管和业务的复合型人才，为药品监管机制的长效运行提供充足的人力保障，切实守护公众用药安全。

# 6 结语

药品质量安全事关社会公共利益，传统监管手段已难以应对现代医药产业发展的新要求。基于大数据的药品监管检验风险预警机制作为一种创新型监管工具，不仅具备广泛的数据整合能力，还能实现动态、智能、高效的风险预警。本文系统分析了构建路径、核心技术与应用效果，提出了机制优化策略。未来，随着技术水平提升与政策环境完善，该机制将在全国范围内逐步推广，成为药品监管体系的重要组成部分。

## 参考文献

- [1] 靳文梅.工商管理视角下食品药品监管效能提升策略研究[J].中外食品工业,2024,(22):93-95.
- [2] 马红翠,徐忠奇.食品药品监管的多元化协同治理策略探讨[J].现代食品,2024,30(20):46-48.
- [3] 李超.基层食品药品监管工作的问题与对策[J].中国食品工业,2024,(08):113-115.
- [4] 重庆:加强中央食品药品监管补助资金管理[J].中国财政,2023,(13):73-74.

# This paper briefly analyzes the battery thermal management under the condition of fast charging

Bowei Su

Luohe Food Engineering Vocational University, Luohe, Henan, 462300, China

## Abstract

In recent years, China's rapid economic growth has fueled the new energy vehicle (NEV) industry, with sales volumes steadily increasing. However, challenges such as prolonged charging times have emerged during this development phase, posing constraints on sector progress. To address these issues, researchers have developed fast-charging technologies. Concurrently, a critical challenge has arisen: NEV batteries generate excessive heat during charging, significantly reducing operational lifespan. This study explores thermal management strategies for batteries under fast-charging conditions, aiming to provide actionable insights for industry development.

## Keywords

fast charging; battery heat; management ideas

# 浅析快速充电条件下的电池热管理思路

苏博巍

漯河食品工程职业大学，中国·河南 漯河 462300

## 摘要

近年来，随着我国经济的快速发展，新能源汽车行业得到了迅速发展，新能源汽车的销量逐年攀升。然而，新能源汽车行业在发展的过程中也遇到了一些问题，这些问题的存在在一定程度上制约了行业的发展，如新能源汽车的充电时间比较长。为了有效地应对这一问题，研究人员研发出了快速充电技术。与此同时，却出现了另一项重要问题，即新能源电池在短时间内会产生大量热量进而影响电池使用时间。在此基础上，文章针对快速充电条件下的电池热管理思路进行了探讨，旨在为相关工作提供一定的参考。

## 关键词

快速充电；电池热；管理思路

## 1 引言

现如今，新能源汽车以其在环保性、经济性、驾驶舒适性等方面的优势赢得了越来越多消费者的青睐，据统计：新能源汽车的销量几乎接近汽车总销量的一半。新能源汽车行业的发展，在推动能源结构转型、促进产业升级、实现经济与环境的协调发展等方面发挥了至关重要的作用<sup>[1]</sup>。在新能源汽车行业发展的过程中，一些问题逐渐显现，如充电时间长、续航里程短等。其中，充电时间长是一项比较凸出的问题。为了使新能源汽车行业得到持续发展，就必须重点解决新能源汽车充电时间长的问题，而快速充电则是解决这一问题的重要手段。当前，新能源汽车应用的电池多为锂电池，其对温度比较敏感，其在快速充电的过程中会产生大量的热量，轻则影响电池使用时间，重则导致火灾产生。针

对此种情况，就迫切地需要针对新能源汽车快速充电条件下的电池热管理进行研究。

## 2 新能源电池快速充电需求

新能源电池是电动汽车的核心组件，基本性能可影响到汽车的充电时间以及安全性等多个方面，因此需要高度重视新能源电池的特殊性，明确其快速充电的需求。在电动汽车市场迅速扩张的背景下，消费者对充电的需求日益增长，快速充电受到广泛关注。所谓的快速充电技术，主要是在短时间内为电池注入大量电能，使用户的出行需求得以满足。在快速充电的过程中，电池极易释放巨大热量，需要高度重视电池的热管理，使相关的系统保持稳定状态，以维护电池安全性和可靠性，适当延长其使用寿命。在新能源电池热管理研究中，需要结合快速充电的标准展开分析，还要明确电池热管理模块运行思路，以便确定最佳的实践方案，让整体成果尽如人意。

【作者简介】苏博巍（1995-），男，回族，中国河南人，

本科，讲师，从事新能源汽车研究。

### 3 新能源汽车中的锂电池分析

近些年，新能源汽车受到广泛关注，为国家以及社会的发展作出了积极贡献。随着新能源汽车的普及，锂电池应用情况受到广泛关注，在快速充电需求背景下，应着重分析锂电池的优势，明确其具体构造，了解锂电池快速充电的原理，以便采取科学化热管理方案，让电池使用寿命进一步延长，满足多元化应用需求。

#### 3.1 锂电池的优势

在十二五规划中，国家提出了推动绿色发展，建设资源节约型、环境友好型社会，新能源汽车在环保方面具有非常强的优势，因此新能源汽车行业的发展得到了政府的大力支持，新能源汽车的销量也因此在近些年中得到了爆发式的增长<sup>[2]</sup>。为了使新能源汽车行业得到持续地发展，新能源汽车行业技术人员针对新能源汽车充电时间长的问题研究出了快速充电技术。当前，新能源汽车大多使用的是锂电

池，这与其具备的各项优势是分不开的，如能量密度高、循环寿命长、自放电率低等。锂电池虽然具有多项优势，但与此同时其也具有一些劣势，如对温度十分敏感。据研究：在 30—40° 的范围内，锂电池的温度每增加 1°，其使用时间就会减少 2 个月。以索尼公司的 18650 电池为例，在 45° 下，该电池循环 800 次后容量会损失 37%；而在 55° 下，该电池循环 491 次后容量会损失 71%。在快速充电的过程中，新能源汽车使用的锂电池通常会在较短的时间内释放出大量的热量，如果没有及时采取有效的措施使其冷却，那么锂电池的温度就会持续增高，进而使锂电池的使用时间大幅缩短<sup>[3]</sup>。当新能源汽车使用的锂电池在快速充电的过程中的温度超过了一定的临界温度后，通常就会出现严重的副反应，并最终导致火灾的发生。因此，就对新能源汽车的电池热管理系统提出了较高的要求，需要结合车辆热管理系统原理控制锂电池在快速充电中的温度和温差，使之处于安全范围，由此防范安全事故。（如图 1 所示）

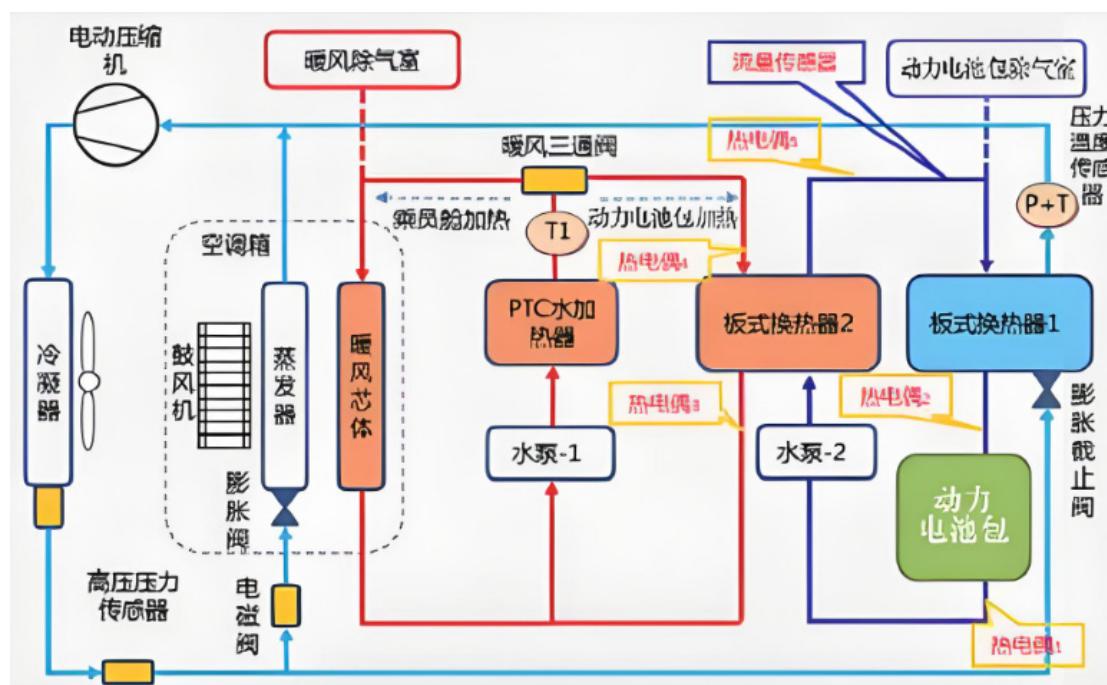


图 1 车辆热管理系统原理

#### 3.2 锂电池的组成和热量来源

新能源汽车所使用的锂电池通常由三个部分组成，分别是：正极、电解质、负极。比较常见的正极材料有三种，分别是磷酸铁锂、锰酸锂、钴酸锂；比较常见的负极材料为石墨。锂电池在快速充电的过程中，锂电子会从正极材料中脱嵌，然后流经电解液，并穿过隔膜嵌入到负极材料中。在这个过程中，为了保证正、负极电荷平衡，外电路中会有等量的电子从正极移动到负极，而放电过程则与以上过程相反<sup>[4]</sup>。随着锂电子嵌入和脱嵌，锂电子在快充的过程中会产生很多的热量，对其热量来源进行分析，可以发现其主要来

自以下四个方面：一是锂电池充放电时因为化学反应而产生的热量，简称为反应热；二是因为电极电位偏移而使电池极化产生的热量，简称为极化热；三是电流通过电池内部时因为焦耳效应而产生的热量，简称为焦耳热；四是因为电解液自身放电而产生的热量，简称为副反应热。新能源汽车使用的锂电池在快速充电的过程中所产生的总热量等于反应热、极化热、焦耳热、副反应热之和。通常情况下，副反应热较少，所以可以忽略不计。基于锂电池的特殊构造，在详细分析热量来源的基础上应明确热管理的思路，要从系统和技术等方面展开分析，确定最佳的手段，提升锂电池使用效率。

## 4 快速充电条件下的电池热管理系统

### 4.1 空气冷却系统

当前，新能源汽车快速充电条件下的电池热管理思路主要为应用电池热管理系统<sup>[5]</sup>。新能源汽车电池热管理系统主要分为四种，分别是空气冷却系统、液体冷却系统、变相冷却系统、热管冷却系统。其中，空气冷却系统和液体冷却系统已处于应用阶段，现已被广泛地应用于各种市售的新能源汽车上；而变相冷却系统和热管冷却系统还处于研究阶段，有望在今后的时间内应用于新能源汽车的电池热管理中。空气冷却系统在新能源汽车的电池热管理中得到广泛应用，这与其具备结构简单、易于维护等方面的优势是分不开的。空气冷却系统以空气作为冷却媒介，主要通过两种方式带走热量，一种方式是自然对流方式，另一种方式是强制对流方式。空气流道结构通常包括两种，分别是串联流道和并联流道。其中，并联流道又分为两种，一种是 U 型流道，另一种是 Z 型流道。

### 4.2 液体冷却系统

液体冷却系统是另一种在新能源汽车中应用比较广泛的冷却系统，与空气冷却系统将空气作为冷却媒介不同，其通常将水、乙二醇—水混合液等作为冷却媒介，该类型的冷却媒介的导热系数往往更高，比热容也往往更高<sup>[6]</sup>。因此，液体冷却系统相比空气冷却系统在降低锂电池温度方面的效果往往更好，可以在很大程度上降低锂电池在快充过程中的温度，从而更好地保持系统温度的均匀性。根据液体是否与锂电池直接接触的标准进行分类，可以将液体冷却系统分为两种，分别是直接液冷系统和间接液冷系统。

## 5 快速充电条件下的电池热管理思路

### 5.1 应用高效散热材料

宝马电动汽车中运用的石墨烯就是高效散热材料，其在新能源快充电池中占据着重要地位。这类材料的热导率较高，可以将电池热量传导出去，避免电池过热而影响到整体的安全性。在电池组中，石墨烯散热膜还能作用于电池单体和电池组表面，依照相应的测试情况来看，这种材料的降温效果可以稳步提升电池的充电效率，也能将其使用寿命适当延长，避免电池过热而引发火灾。

### 5.2 应用主动冷却技术

特斯拉电池组主要运用了主动冷却技术，这种技术在大型电池系统中发挥出自身的优势。冷却液在电池模块中可以按照特定通道呈现出理想的循环模式，由此将电池温度控制下来，使之保持在相对稳定的阶段，避免过高或过低。除此之外，通过精确的设计冷却通道，还能将电池单元覆盖到位，保证散热更加理想。快速充电场景中，也可将冷却系统

的应用优势充分体现，确保电池组的温度始终维持在 45℃ 以下。冷却系统的设计除了让电池充电过程始终保持相对稳定的性能，也能维持电池的合理温度，使电池使用寿命进一步延长。

### 5.3 应用热电效应技术

废热回收系统基于热电效应技术诞生，其能将热能及时转变为电能，满足快速充电的需要，在新能源汽车领域受到广泛关注，备受青睐与认可。这种系统运用了特殊的热电材料，若是存在着明显温差，电压便会出现，进而生成电能。具体应用的阶段，系统还需安装于电池组周边，通过释放热量，以满足具体的使用需求。快速充电条件下，电池组温度可能达到 50℃，但是环境温度始终维持在 25℃，这种温差的存在便为热能发电创造了条件。经过具体的实践，这种技术的应用价值明显，除了强化能源的基本利用率，也可控制热损失，实现对废热的科学利用，促使着新能源汽车实现可持续发展的目标。

## 6 结语

综上所述，新能源汽车在近些年中得到了大力发展，主要原因是新能源汽车在环保性方面表现比较突出。不仅如此，新能源汽车相比传统的燃油汽车，其在经济性方面也有十分突出的优势。因此，新能源汽车的销量不断地在增长，其销量现已占到了汽车总销量的一半。新能源汽车在发展的过程中，需要面对一系列问题，如电池充电时间长的问题。针对该问题，出现了快充技术，但在应用该技术时需面对电池过热的问题。为了有效地解决这一问题，可以采用有效的电池热管理系统，比较常用的电池热管理系统为空气冷却系统和液体冷却系统。随着技术的不断进步，电池热管理系统将会越来越完善，从而促进新能源汽车行业的进一步发展。

## 参考文献

- [1] 刘强, 郝敏. 基于FLUENT的单通道质子交换膜燃料电池流道尺寸优化[J]. 中外能源, 2025, 30 (07): 31-39.
- [2] 李彧文, 贾薇. 新能源汽车电池测试中温度传感器的精准检测与热管理策略优化[J]. 汽车维修与保养, 2025, (07): 62-63.
- [3] 耿胜民, 任浩鹏, 陈尧, 褚国栋, 高文信, 刘文庆. 新能源汽车热管理集成模块快速试验台架搭建及试验研究[J]. 汽车与新动力, 2025, 8 (03): 41-45.
- [4] 龙腾, 匡曙光, 肖霆, 蒋炜. 船用集装箱式移动电源锂电池包极限环境温升试验研究[J]. 船电技术, 2025, 45 (07): 88-90+95.
- [5] 莫振丁. 新能源动力电池故障诊断探析——以2023款比亚迪汉EV为例[J]. 汽车维修技师, 2025, (12): 14-16.
- [6] 段浩磊, 陈浩远, 梁坤峰, 王林, 陈彬, 曹勇, 张晨光, 李硕鹏, 朱登宇, 何亚茹, 杨大鹏. 纯电动车热管理系统低GWP工质替代方案性能分析与综合评价[J]. 化工学报, 2025, 76 (S1): 54-61.

# Research and development of a new type of cold brewed tea: process optimization and performance evaluation

Wangdong Bao<sup>1</sup> Hongyan Ye<sup>1</sup> Huiqun Wu<sup>2</sup>

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

2. Jinhua Jinling Agricultural Technology Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

## Abstract

To develop cost-effective cold-brewed tea products catering to young consumers, this study utilized fresh one-leaf-two-leaf raw teas from high-altitude tea gardens above 600 meters as raw materials for black and green teas. Through orthogonal experimental design, we systematically investigated the effects of four factors on the sensory quality (tea infusion color, aroma, and taste): packaging materials (nylon, corn fiber, PP filter cloth, non-woven fabric), tea particle size (screen mesh diameter: 0.23mm, 0.45mm, 1.12mm, 1.60mm), portion sizes (3g, 5g), and brewing time (5min, 10min). Sensory evaluation identified the optimal parameter combination. Results showed that the best process parameters for both black and green tea cold-brewed products were corn fiber packaging, 0.45mm screen mesh, 5g portion size, and 5min cold water (150ml) brewing time, which effectively enhanced sweetness while reducing bitterness and caffeine extraction. Based on this methodology, we successfully developed cold-brewed green and black tea products, which received positive market feedback during trial promotions.

## Keywords

Cold brewed tea; Bagged tea; Orthogonal experiment; Sensory evaluation; Process optimization;

# 一种新型冷泡茶产品的研发：工艺优化与性能评价

鲍王栋<sup>1</sup> 叶红燕<sup>1</sup> 吴慧群<sup>2</sup>

1. 武义熟水茶业有限公司，中国·浙江金华 321000

2. 金华金凌农业科技有限公司，中国·浙江金华 321000

## 摘要

为开发符合年轻消费者需求的经济便捷型冷泡袋泡茶产品，本研究以海拔600米以上高山茶园的一芽二叶鲜叶制成的红茶和绿茶毛茶为原料。采用正交试验设计，系统研究了包装材料（尼龙材质、玉米纤维、PP滤布、无纺布）、茶叶粉碎粒度（筛分孔径：0.23mm, 0.45mm, 1.12mm, 1.60mm）、分装量（3g, 5g）和冲泡时间（5min, 10min）四个因素对冷泡茶感官品质（汤色、香气、滋味）的影响。通过感官审评确定最优参数组合。结果表明：玉米纤维包装材料、0.45mm筛分孔径、5g分装量、5min冷水（150ml）冲泡时间为绿茶和红茶冷泡茶产品的最佳工艺参数组合，能有效提升茶汤甘甜度，降低苦涩味和咖啡因溶出。基于此工艺成功开发出冷泡绿茶和冷泡红茶产品，并在市场试推广中获得积极反馈。

## 关键词

冷泡茶；袋泡茶；正交试验；感官审评；工艺优化

## 1 引言

冷泡茶作为一种新兴的饮茶方式，利用冷水长时间浸泡茶叶（通常数小时），相较于传统热水冲泡，具有显著优势：其茶汤口感更为甘甜，主要原因是冷水条件下茶叶中带甜味的氨基酸小分子优先溶出，而苦涩味来源的单宁酸、咖啡因则溶出较少[1]。研究表明，冷泡茶在降低血压和尿酸方面具有一定功效，且能有效降低茶碱和咖啡因的释放量，减轻胃壁负担，对胃部刺激小，不影响睡眠。为迎合现代年

轻人快节奏生活和户外运动需求，亟需开发经济便捷、风味独特的冷泡茶产品。本研究旨在将袋泡茶的便利性与冷泡茶的品质特点相结合，以武义县优质高山茶原料为基础，通过科学的工艺优化，研发新型冷泡袋泡茶产品，为传统茶叶生产和销售模式注入新活力。

## 2 主要研究内容与技术指标

### 2.1 主要研究内容

(1) 以海拔600米以上高山茶园一芽二叶鲜叶经现有技术制成红茶和绿茶毛茶为原料，以不同粉碎粒度茶叶为样本，通过对其包装材料、粉碎粒度、封装量、冲泡时间四因素开展四因素四水平正交试验。

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

(2) 通过汤色、香气、滋味等感官指标, 审评确定正交试验最佳组合, 初步确定产品参数, 根据市场反馈对产品进行改良, 最终确定产品技术参数。

## 2.2 主要技术指标

开发出红、绿两个品类的新型冷泡茶产品, 确定红、绿两品类产品最终产品参数指导后期生产。

## 3 关键技术、工艺的解决过程及解决方案。

### 3.1 关键技术及创新点

本试验采用粉碎工艺开发冷泡茶产品, 产品保留了茶叶中甘醇滋味, 茶汤不苦涩, 切合了年轻人快节奏以及户外运动爱好者的生活需求。

### 3.2 实验方案

见图 1。

### 3.3 主要试制、试验数据及数据分析

试验选用海拔 600 米以上高山茶园一芽二叶鲜叶制成红茶和绿茶毛茶为原料, 采取粉碎工艺, 并结合包装材料、筛分孔径、分装量、冲泡时间四因素开展试验, 通过冷泡之后采用感官审评方法确定各要素最佳参数, 以此开发一款新型冷泡茶产品。

#### 绿茶试验

由表 2 可知, 经不同参数处理试验分析, 采用 150ml 纯净水, 冷泡方式冲泡方式下, 绿茶毛茶试制冷泡茶的最优参数组合是采用玉米纤维包装材料、0.45mm 筛分孔径、5g 分装量冲泡 5min 即可达到最佳饮用口感。

#### 红茶试验

由表 3 可知, 经不同参数处理试验分析, 采用 150ml

纯净水, 冷泡方式冲泡方式下, 红茶毛茶试制冷泡茶的最优参数组合是采用玉米纤维包装材料、0.45mm 筛分孔径、5g 分装量冲泡 5min 即可达到最佳饮用口感。

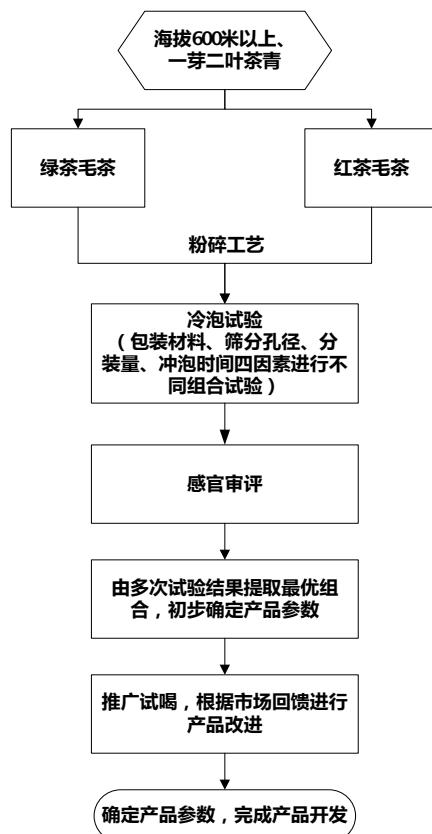


图 1

表 2 绿茶毛茶试制冷泡茶试验安排表

	处理序号	A 包装材料	B 筛分孔径(单位: mm)	C 分装量(单 位:g)	D 冲泡时间(单位: min)	结果	结论
第一组 试验	1	尼龙材质	1.6	3	5	处理 2 最佳, 处理 4 最差	淘汰无纺布材料
	2	玉米纤维	1.6	3	5		
	3	PP 滤布	1.6	3	5		
	4	无纺布	1.6	3	5		
第二组 试验	5	尼龙材质	1.6	3	10	处理结果无明显差异	10min 冲泡时间过长, 不予采用
	6	玉米纤维	1.6	3	10		
	7	PP 滤布	1.6	3	10		
第三组 试验	8	尼龙材质	1.6	5g	5min	处理 8 略涩; 处理 9 最佳, 回甘明显; 处理 10 最差	确定玉米纤维材料、 5 分钟冲泡时间相 对最佳
	9	玉米纤维	1.6	5g	5min		
	10	PP 滤布	1.6	5g	5min		
第四组 试验	11	玉米纤维	0.23	3	5min	处理 11、12 有青气; 处 理 13、14 滋味纯, 其 中处理 14 优于 13; 处 理 15/16 有粗老味	确定 0.45mm 筛分 孔径、5g 分装量相 对最佳
	12	玉米纤维	0.23	5	5min		
	13	玉米纤维	0.45	3	5min		
	14	玉米纤维	0.45	5	5min		
	15	玉米纤维	1.12	3	5min		
	16	玉米纤维	1.12	5	5min		

表 3 红茶毛茶试制冷泡茶试验安排表

	处理序号	A 包装材料	B 筛分孔径(单位: mm)	C 分装量(单位: g)	D 冲泡时间(单位: min)	结果	结论
第五组 试验	17	尼龙材质	1.6.	3	5	整体滋味偏淡	3g 与 5min 组合效果不佳
	18	玉米纤维	1.6	3	5		
	19	PP 滤布	1.6	3	5		
第六组 试验	20	尼龙材质	1.6.	5g	5min	处理 20 偏淡; 处理 21 最佳; 处理 22 不稳定	确定玉米纤维材料、5 分钟 冲泡时间相对最佳
	21	玉米纤维	1.6	5g	5min		
	22	PP 滤布	1.6	5g	5min		
第七组 试验	23	玉米纤维	0.23	3	5min	处理 23、24 汤色浑浊; 处 理 25、26 较好, 其中 26 优 于 25; 处理 27、28 偏淡	确定 0.45mm 筛分孔径、5g 分装量相对最佳
	24	玉米纤维	0.23	5	5min		
	25	玉米纤维	0.45	3	5min		
	26	玉米纤维	0.45	5	5min		
	27	玉米纤维	1.12	3	5min		
	28	玉米纤维	1.12	5	5min		

产品参数确定后, 项目组成员在后期产品推广过程中创新产品形式, 力求达到最佳市场效果, 结合现在年轻人追捧的一些品类直饮杯以茶饮方式推广, 生产的产品经在“新时沏”、“古茗”等奶茶店试销; 做成长条形茶包在企业的专卖店, 在本公司几家专卖店中推广后, 获得了较好的反馈效果。

#### 4 取得的技术、经济、社会效益分析。

通过该项目的实施, 以海拔 600 米以上高山茶园一芽二叶鲜叶经现有技术制成红茶和绿茶毛茶为原料, 以超微、气流等不同粉碎工艺制作的不同粉碎粒度茶叶为样本, 通过对包装材料、粉碎粒度、封装量、冲泡时间四因素开展四因素四水平正交试验<sup>[2]</sup>。并经过中国农业科学院茶叶研究所相关专家的审评、论证, 已筛选出冷泡绿茶、冷泡红茶的最佳参数, 得出如下结论:

①因冷泡茶破碎程度要求并不算高, 超微粉碎已达到产品要求, 气流生产成本远高于超微粉碎, 粉碎工艺确定使用超微粉碎。在冷泡茶的包装材质上, 尼龙材质、PP 滤布及无纺布等因孔径及茶汤浸出率偏低, 不适合作冷泡茶的包装材料。玉米纤维使用玉米为原材料, 安全性高, 包装物孔径及茶汤浸出率均符合需求, 确定以玉米纤维为冷泡茶包装物最佳。

②从感官审评各项指标分析结果看, 通过各种材质、各种粉碎程度、各种时间对照, 以孔径 0.45mm 粉碎程度, 5g 包装量, 5min 时间为最佳方案。

#### 5 推广应用情况及存在的主要问题。

推广应用情况: 此课题的科研成果因涉及到生产设备的问题, 目前只在浙江华仕达茶业股份有限公司进行了推广应用, 生产出的冷泡茶得到了该公司品管部门的认可, 并制作成样品推荐至星巴克、农夫山泉等全球连琐机构及国内大企, 产品符合国家相关标准, 省去了其他企业进行试制的过程。

程, 同时也为武义茶业产业转型指引了方向, 提供了可靠有效的数据支撑。

存在的主要问题: 由于冷泡茶针对的消费群体是年轻一族及户外运动者, 这一消费群体的消费往往都在某种广告或宣传下形成的时尚趋势, 改变需要一个较长的时间, 而企业自有品牌的创建需要大量的资金来提高知名度。因此, 目前产品只是作为一些快饮连琐商的原料供应商<sup>[3]</sup>。产量在很大程度上依赖于快饮连琐店的推销。但在这个项目的实施过程中, 为企业茶叶转型升级开辟了新的机遇, 在冷泡茶的推销过程中, 认识了一批食品加工企业, 茶叶在食品生产中作为食品色素及香味调剂的应用已相当广泛, 但目前这些茶叶深加工产品反而通过进口, 今后企业将在食品添加剂领域开发出新的产品, 引导茶叶由喝茶向吃茶的转变。

#### 6 结语

本研究成功优化了冷泡袋泡茶的生产工艺, 确定以玉米纤维为包装材料、茶叶粉碎至 0.45mm 粒度、每包含茶 5g、在 150ml 冷水中冲泡 5 分钟为最佳工艺参数。该工艺适用于红茶和绿茶原料, 所制产品茶汤甘甜清爽, 苦涩味低, 咖啡因含量少, 符合健康便捷的现代消费需求。项目开发出的冷泡绿茶和冷泡红茶产品, 经济指标超额完成, 市场反馈良好, 为武义县乃至更广泛区域的传统茶产业创新升级提供了有效的技术方案和市场范例。未来需加强品牌建设、市场培育, 并积极探索茶叶深加工领域, 以实现茶产业的多元化可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 刘莉. 茶饮料加工工序及存在的技术问题 [J]. 中南农业科技, 2024, 45 (11): 105-108.
- [2] 耿立波, 刘峰. 冷泡茶研究进展及市场前景分析 [J]. 中国茶叶, 2024, 46 (06): 18-24.
- [3] 黎煌. 夏秋季寿眉茶的新工艺研究与品质分析[D]. 福建农林大学, 2024.

# Innovation of new energy vehicle energy consumption test and its influence on range evaluation

Xiongshuang Wang

Beiqi Foton Motor Co., Ltd., Beijing, 101206, China

## Abstract

With the rapid development of the new energy vehicle industry, accurately assessing vehicle energy consumption and range has become crucial. This paper focuses on innovative energy consumption testing methods and their impact on range evaluation. It first highlights the importance of energy consumption testing for new energy vehicles, then analyzes the limitations of traditional testing methods. Building on this foundation, it details innovative approaches such as simulated complex operating condition testing and big data-intelligent algorithm-based testing. These methods can more accurately reflect actual vehicle energy consumption, improve range prediction accuracy, and enhance range stability assessment. Research shows that innovative testing methods contribute to technological advancement and healthy market development in the new energy vehicle industry, providing consumers with more reliable range references.

## Keywords

new energy vehicles; energy consumption testing methods; range evaluation; innovation

# 新能源整车能耗测试创新及对续航评估影响

王雄爽

北汽福田汽车股份有限公司，中国·北京 101206

## 摘要

随着新能源汽车产业快速发展，准确评估整车能耗与续航能力成为关键。本文聚焦能耗测试方法创新及其对续航评估的影响。首先指出新能源汽车能耗测试的重要性，随后分析传统测试方法的局限性。在此基础上，详细介绍了模拟复杂工况测试、基于大数据与智能算法测试等创新方法。这些方法能更精准反映车辆实际能耗，提高续航里程预测准确性，增强续航稳定性评估。研究表明，创新测试方法有助于推动新能源汽车行业技术进步与市场健康发展，为消费者提供更可靠的续航参考。

## 关键词

新能源汽车；能耗测试方法；续航评估；创新

## 1 引言

在当今追求绿色出行与可持续发展的时代，新能源汽车作为传统燃油汽车的重要替代方案，正逐渐占据越来越重要的市场地位。续航能力是消费者衡量新能源汽车性能的关键指标之一，而准确的整车能耗测试是评估续航的基础。然而，传统能耗测试方法在实际应用中逐渐暴露出与复杂多变的实际工况契合度不足等问题，导致续航评估结果与消费者实际体验存在偏差。因此，创新新能源汽车整车能耗测试方法具有重要的现实意义，不仅有助于更精准地评估车辆续航，还能为新能源汽车技术的优化升级提供有力支撑，推动整个行业朝着更健康、可持续的方向发展。

## 2 新能源汽车能耗测试的重要性

### 2.1 对消费者的意义

对于消费者而言，新能源汽车的续航能力直接关系到日常使用的便利性与出行范围。准确的能耗测试能够为消费者提供可靠的续航信息，帮助他们在购车时做出更明智的决策。消费者可以根据实际需求，选择续航里程符合自身使用场景的车辆，避免因续航预估不准确而带来的出行困扰，如担心途中电量不足等问题。当消费者清楚了解车辆的真实续航情况后，能够更好地规划出行路线和活动安排，提升出行的效率和舒适度。

### 2.2 对汽车制造商的意义

汽车制造商需要通过精准的能耗测试来评估车辆性能，优化车辆设计与动力系统配置。通过了解车辆在不同工况下的能耗情况，制造商可以有针对性地改进电池技术、电机效率以及整车轻量化设计等方面，从而提升产品的市场竞争

【作者简介】王雄爽（1986—），男，中国北京人，本科，工程师，从事汽车研究。

力。例如，如果测试发现车辆在高速行驶时能耗过高，制造商可以优化电机的控制系统，提高电机在高速工况下的效率；如果发现电池在低温环境下性能下降明显，制造商可以研发更先进的电池热管理系统，提升电池在低温环境下的性能。同时，准确的能耗测试数据也有助于制造商向消费者提供更真实、可靠的续航承诺，增强品牌信誉。当消费者知道汽车制造商提供的续航数据是经过准确测试和验证的，他们会更愿意选择该品牌的新能源汽车，从而提高品牌的市场份额和口碑。

### 2.3 对行业发展的意义

在整个新能源汽车行业层面，统一、准确的能耗测试方法是行业规范化发展的基础。它有助于建立公平的市场竞争环境，促进技术创新与交流。行业监管部门也可以依据准确的能耗测试数据制定相关标准与政策，引导行业朝着高效、节能的方向发展，推动新能源汽车产业的健康可持续发展。统一的能耗测试方法可以让不同企业的产品在相同的测试标准下进行比较，消费者可以根据客观的测试数据选择更适合自己的产品，而不是被一些夸大的宣传所误导。同时，行业监管部门可以根据准确的能耗测试数据制定合理的补贴政策和排放标准，鼓励企业研发和生产更高效、更环保的新能源汽车，推动整个行业的技术进步和产业升级。

## 3 传统新能源汽车整车能耗测试方法的局限性

### 3.1 工况模拟的单一性

传统的能耗测试方法往往采用较为固定的工况进行模拟，如常见的匀速行驶、特定加速度曲线等。然而，实际驾驶过程中，路况复杂多变，包括频繁的启停、急加速、急减速、爬坡、下坡以及不同交通状况下的速度变化等。单一的工况模拟无法全面反映车辆在实际使用中的能耗情况，导致测试结果与实际续航存在较大差异。例如，在城市拥堵路况下，车辆需要频繁地启停，这种情况下电机的能耗会显著增加；而在高速公路上匀速行驶时，能耗相对较低。传统测试方法如果只采用匀速行驶的工况进行模拟，就无法准确反映车辆在城市拥堵路况下的真实能耗情况，从而使得续航评估结果与消费者的实际体验相差甚远<sup>[2]</sup>。

### 3.2 环境因素考虑不足

传统测试方法对环境因素的考虑相对有限。实际驾驶中，环境温度、湿度、海拔高度等因素都会对新能源汽车的能耗产生显著影响。例如，低温环境会降低电池的活性，导致电池放电能力下降，从而增加能耗；高温环境则可能影响电池的散热与寿命，间接影响能耗。而传统测试大多在较为理想的环境条件下进行，未能充分考虑这些复杂的环境因素对能耗的影响。在低温环境下，电池的化学反应速度减慢，电池的内阻增大，导致电池的输出功率下降，为了维持车辆的正常行驶，电机需要消耗更多的电能，从而增加了能耗。而传统测试方法如果不在低温环境下进行测试，就无法准确

评估车辆在寒冷天气下的续航能力，使得消费者在实际使用中可能会遇到续航里程大幅缩水的情况。

### 3.3 测试设备与技术的局限

部分传统测试设备在精度、响应速度等方面存在一定局限性。随着新能源汽车技术的不断发展，车辆的电气系统日益复杂，对测试设备的精度和实时性要求也越来越高。一些传统设备可能无法准确捕捉车辆在瞬态工况下的能耗变化，从而影响测试结果的准确性与可靠性。此外，传统测试技术在数据采集与分析方面也可能存在不足，难以全面挖掘能耗数据背后的潜在信息<sup>[6]</sup>。例如，在车辆进行急加速或急减速等瞬态工况时，电池的输出电流和电压会瞬间发生变化，传统测试设备可能无法及时准确地测量这些变化，从而无法准确计算车辆在这些工况下的能耗。同时，传统测试技术在数据分析方面可能只能提供一些简单的能耗数据，无法深入分析能耗与车辆行驶状态、环境因素等之间的关系，难以为用户提供更有价值的参考信息。

## 4 新能源汽车整车能耗测试方法的创新

### 4.1 模拟复杂工况的测试方法

为了更真实地反映车辆实际能耗情况，创新的测试方法注重模拟复杂多变的工况。通过采集大量实际道路行驶数据，包括不同城市道路、高速公路、乡村道路等场景下的行驶信息，构建出丰富多样的工况模型。这些工况模型涵盖了频繁启停、急加速急减速、不同坡度行驶等各种实际驾驶情况。在测试过程中，让车辆按照这些复杂工况模型进行行驶测试，从而更准确地测量车辆在接近实际使用环境下的能耗水平。例如，通过在城市道路工况模型中模拟频繁的红绿灯启停、拥堵路段的低速行驶以及正常行驶时的加速和减速等情况，能够更准确地测量车辆在城市环境下的能耗。在高速公路工况模型中模拟不同的行驶速度、超车和跟车等情况，能够更准确地测量车辆在高速公路上的能耗。这种模拟复杂工况的测试方法能够充分考虑实际驾驶中的各种突发情况与复杂路况，使测试结果更贴近消费者的真实使用体验，为续航评估提供更可靠的依据。

### 4.2 基于大数据与智能算法的测试方法

随着大数据技术的发展，创新的测试方法开始利用大数据与智能算法来提升能耗测试的准确性与效率。通过收集大量新能源汽车的实际行驶数据，包括车辆行驶轨迹、速度、加速度、电池电量变化、环境参数等多维度信息，构建庞大的数据库。利用智能算法对这些大数据进行深度挖掘与分析，能够识别出不同工况下能耗的规律与特征<sup>[1]</sup>。例如，通过机器学习算法可以建立能耗预测模型，根据车辆实时行驶状态与外部环境参数，精准预测车辆的能耗情况。通过对大量历史数据的学习，机器学习算法可以分析出不同工况、环境因素和驾驶习惯对能耗的影响规律，从而建立准确的能耗预测模型。当车辆在行驶过程中，实时采集行驶状态和外

部环境参数，输入到能耗预测模型中，就可以精准预测车辆的剩余续航里程和能耗情况。这种方法不仅能够处理复杂的工况变化，还能实时调整测试策略，提高测试的针对性与有效性，为续航评估提供更精准的预测结果。

### 4.3 多因素综合测试方法

创新的测试方法强调对多因素的综合考虑，除了传统关注的车辆自身行驶工况外，还将环境因素、驾驶习惯等因素纳入测试体系。在环境因素方面，通过模拟不同温度、湿度、海拔高度等环境条件，测试车辆在这些复杂环境下的能耗表现。针对驾驶习惯因素，通过设置不同的驾驶模式，如激进驾驶、温和驾驶等，模拟不同驾驶者的操作习惯对能耗的影响。例如，在高温环境下测试车辆的能耗，可以了解电池在高温环境下的散热情况和性能变化，以及电机在高温环境下的工作效率；在低温环境下测试车辆的能耗，可以评估电池热管理系统在低温环境下的性能，以及车辆在寒冷天气下的续航能力。通过设置激进驾驶模式，模拟驾驶者频繁急加速、急减速的操作习惯，测试车辆在这种情况下的能耗情况；通过设置温和驾驶模式，模拟驾驶者平稳驾驶的操作习惯，测试车辆在这种情况下的能耗情况。这种多因素综合测试方法能够全面、系统地评估车辆在各种实际可能遇到的情况下能耗情况，使续航评估更加准确、全面，为消费者提供更具参考价值的续航信息。

## 5 创新测试方法对续航评估的影响

### 5.1 提高续航里程预测准确性

创新的测试方法通过更精准地模拟实际工况、考虑多因素影响，能够更准确地测量车辆的实际能耗。基于准确的能耗数据，续航里程预测模型能够得到更精确的校准<sup>[3]</sup>。无论是基于固定工况的标准续航预测，还是结合实时环境与驾驶信息的动态续航预测，都能更加贴近车辆的实际行驶情况。消费者可以根据更准确的续航里程预测信息，合理规划出行路线与行程，减少因续航预估不准确而带来的焦虑与不便，提升新能源汽车的使用体验。

### 5.2 增强续航稳定性评估

传统的续航评估往往侧重于单一工况下的续航表现，而创新测试方法能够全面评估车辆在不同工况、环境与驾驶习惯下的续航稳定性。通过模拟复杂多变的工况与多因素综合测试，能够检测出车辆在各种极端或特殊情况下的续航变化情况。例如，在低温环境下急加速行驶或在高温环境下长时间爬坡时，车辆的续航稳定性如何。这种对续航稳定性的全面评估有助于汽车制造商改进车辆设计与控制系统，提高车辆在各种实际使用场景下的续航可靠性，为消费者提供更稳定的续航保障。汽车制造商可以根据创新测试方法发现的

问题，对车辆的电池管理系统、动力系统等进行优化和改进，提高车辆在不同环境和使用场景下的续航稳定性<sup>[4]</sup>。

### 5.3 优化续航评估体系

创新测试方法促使续航评估体系不断完善与优化。传统的续航评估体系可能较为单一，主要依赖于有限的工况测试与固定的评估指标。而创新方法引入了多维度的数据与评估因素，如环境适应性、驾驶习惯影响等，使得续航评估体系更加全面、科学。评估指标不仅包括传统的续航里程，还可以涵盖不同工况下的能耗效率、续航波动范围等<sup>[5]</sup>。这有助于建立更符合实际市场需求与消费者期望的续航评估体系，推动新能源汽车行业在续航性能方面的技术进步与市场竞争力的提升。通过引入多维度的评估指标，消费者可以更全面地了解车辆的续航性能，而不仅仅是关注续航里程这个指标。

## 6 结论

新能源汽车整车能耗测试方法的创新对于准确评估续航能力具有至关重要的意义。传统测试方法由于工况模拟单一、环境因素考虑不足以及测试设备与技术局限等问题，导致测试结果与实际续航存在偏差。而创新的测试方法，如模拟复杂工况测试、基于大数据与智能算法的测试以及多因素综合测试方法，能够更精准地反映车辆实际能耗情况。这些创新方法对续航评估产生了积极影响，提高了续航里程预测准确性、增强了续航稳定性评估以及优化了续航评估体系。随着新能源汽车技术的不断发展，未来应进一步探索与完善能耗测试方法，以更好地满足行业发展需求，为消费者提供更可靠、准确的新能源汽车续航信息，推动新能源汽车行业持续健康发展。通过不断创新与优化能耗测试方法，新能源汽车行业将在提升产品性能、增强市场竞争力以及满足消费者需求等方面取得更大的进步，为实现绿色出行与可持续发展目标做出更大贡献。

### 参考文献

- [1] 邢浩勤.基于中国工况的轻型新能源汽车能耗测试方法研究[D].河北工业大学,2020.
- [2] 张永祥.基于电池管理系统的新能源汽车续航能力优化研究[J].汽车知识,2025,25(01):4-6.
- [3] 杜印莹.新能源汽车动力电池循环寿命测试优化策略研究[J].汽车测试报告,2024,(18):59-61.
- [4] 邓金枝.浅谈新能源纯电动汽车续航及动力电池保养[J].汽车维护与修理,2025,(14):113-114.
- [5] 胡梦飞.新能源汽车电池管理系统优化对续航里程的影响与优化策略[J].汽车画刊,2025,(05):4-6.
- [6] 吴建德.浅谈新能源汽车的检测与维修[J].城市公共交通,2025,(05):35-37+42.

# Current issues and optimization strategies for the regulatory system of the construction quality inspection industry

Wei Li

Jiangsu Province Engineering Surveying and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

## Abstract

The quality inspection industry of engineering construction is a crucial link for ensuring the quality of engineering projects. The completeness of its regulatory system directly affects the safety of engineering quality and people's lives and property. This paper aims to analyze the existing problems in the current regulatory system of the engineering quality inspection industry, including unclear responsibilities of regulatory bodies, incomplete laws and regulations, lagging technological supervision methods, and irregular market regulation. Based on this, corresponding optimization strategies are proposed, such as clarifying the responsibilities of regulatory bodies, improving the legal system, promoting innovation in technological supervision, and strengthening market regulation, with the aim of providing references to improve the regulatory level of the engineering quality inspection industry and promote its healthy and orderly development.

## Keywords

engineering quality inspection; regulatory system; existing issues; optimization strategies

# 工程质量检测行业监管体系的现存问题与优化对策

厉伟

江苏省工程勘测研究院有限责任公司，中国·江苏 扬州 225000

## 摘要

工程质量检测行业为保障工程建设质量的重要环节，其监管体系的完善与否直接关系到了工程质量安全和人民生命财产安全。本文旨在分析当前工程质量检测行业监管体系存在的问题，其中包括了监管主体权责不清、法律法规不完善、技术监管手段滞后、市场监管不规范等，并据此提出了相应的优化对策，如明确监管主体权责、完善法律法规体系、推进技术监管创新、加强市场监管力度等等，以期能够为提升工程质量检测行业监管水平提供参考，进而促进该行业的健康有序发展。

## 关键词

工程质量检测；监管体系；现存问题；优化对策

## 1 引言

工程质量检测是工程建设全过程中的关键环节，该环节主要通过对工程材料、构件、设备以及施工过程中的质量进行检测，来为工程质量评估和验收提供科学的依据，已是保障工程质量的重要技术支撑。目前随着我国工程建设行业的快速发展，工程质量检测行业也迎来了蓬勃发展的机遇，即检测机构数量的不断增加，且检测业务范围也在不断地扩大。然而在行业发展的同时，工程质量检测行业监管体系却暴露出了诸多的问题，导致一些检测数据失真、检测行为不规范等现象时有发生，严重地影响了工程质量的可靠性。因而，完善工程质量检测行业监管体系，以此加强对检测行业的有效监管，成为了当前工程建设领域亟待解决的重

要问题。本文将深入地探讨工程质量检测行业监管体系的现存问题，并提出具有针对性的优化对策，期待能够为构建科学、高效、规范的监管体系提供部分思路。

## 2 工程质量检测行业监管体系的现存问题

### 2.1 监管主体权责不清，协同监管不足

目前我国工程质量检测行业的监管主体较为多元，涉及了住房和城乡建设部门、交通运输部门、水利部门等多个行政主管部门。可各部门在监管过程中往往依据各自的职责范围开展工作，加之由于缺乏明确的权责划分和有效的协调机制，进而导致监管工作极易出现交叉重叠或监管空白的现象<sup>[1]</sup>。

一方面，对于一些跨领域的工程质量检测项目，如果多个监管部门均参与监管，就容易出现重复检查、多头执法的情况。此时增加了检测机构的负担，同时也造成了行政资源的浪费。另一方面，对于一些新兴的工程质量检测领域或

【作者简介】厉伟（1983—），男，中国江苏扬州人，本科，工程师，从事工程质量检测行业研究。

监管边界模糊的业务，各个监管部门之间非常容易出现推诿扯皮的现象，导致监管空白的情况出现。如随着智能建筑、绿色建筑的发展，当前出现了一些新型的检测项目，但由于相关监管职责未明确划分，各部门都不愿主动地承担监管责任，使得这些检测项目处于监管失控状态，便给工程质量埋下了隐患。

## 2.2 法律法规体系不完善，可操作性不强

工程质量检测行业的监管需要完善的法律法规体系作为支撑，但如今我国相关的法律法规还存在诸多的不完善之处。首先，现行的法律法规对工程质量检测行业规定较为原则性，其中缺乏具体的实施细则和操作规范，导致在实际监管过程中监管部门难以准确地把握监管标准，即执法弹性比较大，如《建设工程质量检测管理办法》，虽然当中对检测机构的资质要求、检测行为规范等做出了规定，但对于检测数据造假、出具虚假检测报告等违法行为的处罚标准不够明确，致使不同地区的监管部门在处理类似案件时，处罚力度存在着较大的差异，影响了法律的权威性和严肃性。其次，法律法规的更新速度滞后于行业发展。即随着工程建设技术的不断创新和检测行业的快速发展，出现了许多新的检测技术、检测方法和检测业务，但相关的法律法规未能及时地进行跟进，那么对这些新情况、新问题便缺乏了有效的规范和约束<sup>[2]</sup>。像无人机检测、BIM 技术在工程质量检测中的应用等，现行法律法规尚未明确其操作规范和监管要求，导致这些新技术在应用的过程中存在着一定的监管风险。最后，部分法律法规之间还存在着冲突和不协调的现象。该现象出现的原因是，不同部门制定的规章和规范性文件在某些条款上不一致，使得检测机构在执行过程中无所适从，同时也给监管部门的执法带来了困难。

## 2.3 技术监管手段滞后，信息化水平不高

当今处于信息化的时代，意味着技术监管手段对于提高监管效率和准确性具有重要意义。然而目前我国工程质量检测行业的技术监管手段相对比较滞后，信息化水平不高，在实践当中难以满足现代监管的需求。就传统的监管方式来说，监管部门对检测机构的日常监管主要依赖于人工检查和书面资料审核，但这种方式不仅效率低下，而且难以发现检测过程中的隐蔽性问题。如监管人员在检查检测机构的检测报告时，往往只能通过肉眼查看报告的完整性和规范性，难以核实检测数据的真实性和准确性，对于检测过程中的违规操作更是难以察觉。

## 2.4 市场监管不规范，行业竞争无序

工程质量检测行业的市场监管不规范，导致了行业的竞争无序，该情况严重地影响了行业的健康发展。其中最为关键的问题是市场准入门槛不够严格，使得一些不具备相应资质和能力的检测机构得以通过不正当的手段进入市场，而这些检测机构为了争夺业务，往往会采取低价竞争的策略，降低了检测标准和服务质量，导致检测数据失真，影响了工

程质量的评估，还扰乱了市场的原有秩序。同时检测机构的诚信体系建设不完善也是值得关注的问题。因为部分检测机构为了追求经济利益，存在着弄虚作假、出具虚假检测报告等失信行为。例如某些检测机构与施工单位勾结，篡改检测的数据，为不合格的工程材料和构件出具了合格的报告，该举动给工程质量带来了非常严重的隐患。但由于缺乏有效的诚信评价机制和失信惩戒机制，上述这些失信行为并得不到及时的曝光和严厉的处罚，无法形成有效的约束。

# 3 工程质量检测行业监管体系的优化对策

## 3.1 明确监管主体权责，建立协同监管机制

监管主体权责不清、协同监管不足难题的破解，首要任务是厘清各监管部门的职责边界，构建起高效的协同监管机制。一方面应当通过立法途径来明确住房和城乡建设、交通运输、水利等行政主管部门在工程质量检测监管中的具体权责与管辖范围，从制度层面消除监管交叉与空白地带。目前可考虑设立工程质量检测行业监管协调小组这一专门机构，由其统筹协调各个部门进行监管工作，并牵头解决跨领域监管的难题。另一方面则是亟需建立监管信息共享机制，以此打破各部门间的信息壁垒<sup>[3]</sup>。基于搭建统一的工程质量检测监管信息平台，可以整合各部门的监管数据、检测机构基础信息、检测报告等内容，进而实现信息的实时共享与动态更新。即借助该平台，监管部门能够全面、及时地掌握检测机构的运营状况与检测行为，有助于大幅度地提升监管效率与精准度。比如，住房和城乡建设部门、交通运输部门、水利部门均可通过信息平台共享各自领域的工程质量检测数据，而针对跨区域桥梁、综合管廊等跨领域工程项目，相关部门也可以依托于平台开展协同监管，进而避免重复检查与多头执法的情况出现。

## 3.2 完善法律法规体系，增强可操作性

只有具备健全的法律法规体系，才能为工程质量检测行业监管提供根本的保障，因此必须加快相关法律法规的修订完善步伐，着力于提升其可操作性与针对性。具体而言：其一要对《建设工程质量检测管理办法》等现行法规进行修订，注重细化检测机构资质标准、检测行为规范及违法违规行为处罚等条款，以此为监管部门提供明确的执法依据。就检测数据造假、出具虚假检测报告等严重违法行为为例，需要大幅度地提高违法成本，且明确规定吊销检测机构资质、追究直接责任人刑事责任等处罚措施，进而形成强有力的法律震慑。同时还要明确不同地区、不同部门在执法过程中的协调流程，使法律法规间的冲突与矛盾得到化解。其二是要紧跟行业发展的步伐，为新兴检测技术与业务制定配套的法规与标准的规范。特别是随着智能建筑、绿色建筑的兴起，无人机检测、BIM 技术应用等新型检测手段日益普及，一定要尽快出台相关操作规范与监管要求，才能确保新技术在合法合规的框架内应用。其三需要建立法律法规动态评估与

更新机制，经由定期地评估现行法规的执行效果，再结合行业发展新动态与监管实践中出现的新问题，及时地修订完善法律法规，确保其始终能够与行业发展相适应，持续地为工程质量检测行业监管提供持续有效的法律支撑。

### 3.3 推进技术监管创新，提高信息化水平

在实践当中，技术监管创新与信息化水平提升是增强工程质量检测行业监管效能的关键路径。而该环节的重点是要加快统一的工程质量检测监管信息平台建设，促使检测机构、检测过程、检测数据及检测报告的全流程信息化管理得以实现。而该平台需要具备检测数据实时上传、检测报告在线审核、检测设备状态监控等核心功能，才能帮助监管部门实时地监控检测机构的操作行为，助力其及时地发现并纠正违规操作。

举例来说，检测机构在开展检测工作时，需要将原始检测数据实时地上传至监管信息平台，监管人员则可通过平台调阅检测数据原始记录与过程视频监控，从而确保检测数据的真实性与准确性。对于检测报告，也应由平台自动地生成唯一编号与防伪标识，如此才能从技术层面杜绝报告篡改与伪造现象。

除此之外，还应该在监管过程当中积极地推广应用大数据、人工智能、物联网等先进监管技术与设备，使监管的科学性与精准度有所提升。比如，在检测设备上安装传感器，即可将设备运行数据、检定日期等信息实时地传输至监管平台，监管部门就可以及时地发现未经检定或超期使用的设备，再责令检测机构立即进行整改。但更要加强对于监管人员的技术培训，定期地组织监管人员参加信息化技术、大数据分析等专题培训，使其可以熟练地掌握监管信息平台的操作与应用，借由培训提升其运用信息化手段与先进技术开展监管工作的能力<sup>[4]</sup>。

### 3.4 加强市场监管力度，规范行业竞争秩序

在促进工程质量检测行业健康发展之中，强化市场监管、规范竞争秩序是极其重要的举措。第一步需要严格市场的准入管理，通过加强检测机构的资质审核，对申请设立的检测机构，并从严审查其人员资质、设备配置、场地条件等入手，确保其具备相应的检测能力，以此抬高市场的准入门槛。对于不符合资质要求的机构坚决不予准入，从源头上保障检测行业的整体质量。第二步要构建完善的检测机构诚信

体系，进而强化诚信监管。展开来说：建立健全的检测机构诚信档案，在其中详细记录其基本信息、检测业绩、违法违规行为及失信记录等，再通过监管信息平台向社会进行公开。同时结合科学的诚信评价机制，即依据诚信等级对检测机构实施分级分类管理，大幅度地提高失信的成本。第三步是要充分地发挥出行业协会的自律作用<sup>[5]</sup>。即加强对行业协会的指导与监督，既要推动其制定行业规范与自律公约，还要强化对于会员单位的培训与管理，更要督促其组织开展行业内的自查自纠活动，借助行业协会来规范各个单位的检测行为。

## 4 结语

基于上述内容来看，工程质量检测行业监管体系的完善对于保障工程质量安全、促进工程建设行业健康发展具有重要的意义。但当前我国工程质量检测行业监管体系依然存在着监管主体权责不清、法律法规不完善、技术监管手段滞后、市场监管不规范等问题，正是这些问题严重地影响了监管的有效性和行业的健康发展。为了解决这些问题，就需要采取一系列的优化对策，文章当中提到了明确监管主体权责、完善法律法规体系、推进技术监管创新和加强市场监管力度。相信经过这些措施的实施，有望构建一个科学、高效、规范的工程质量检测行业监管体系，促使工程质量检测的准确性和可靠性得到提高，达到保障工程质量安全与促进工程质量检测行业健康发展的效果。

## 参考文献

- [1] 沈虎雷.公路工程质量监督管理的关键问题与对策探析[C]//中国国土经济学会.中国国土经济学会2024年学术年会(二)论文集.中国四川省成都市,2024:1-3.
- [2] 吴随.建筑工程质量检测中现存问题及对策[J].科学大众 ( 科技创新 ),2019,(07):14-14.
- [3] 李昕.水利工程安全与质量监督管理体系存在问题及对策探析 [J].地下水,2020,42(01):263-264.DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2020-01-093.
- [4] 陈玉珍.建筑工程质量监督中常见问题的分析与对策[J].建材发展方向,2025,23(08):34-36.
- [5] 邱天.建筑工程质量政府监管的问题与对策研究[D].陕西省:西北大学,2020.DOI:10.27405/d.cnki.gxbdu.2020.002379.

# Analysis of the Development Trend of Artificial Intelligence in the Era of Change

Yucheng Yan<sup>1</sup> Qin Xue<sup>2</sup> Feihu Chen<sup>3,4</sup>

1. Hunan TV, Changsha, Hunan, 410000, China

2. Changsha Data Labeling Association, Changsha, Hunan, 410000, China

3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi, 343000, China

4. School of Mathematics and Statistics, Hunan First Normal University, Changsha, Hunan, 410000, China

## Abstract

At present, the world and China are in a period of great change, and artificial intelligence (AI) technology represented by DEEPSEEK is developing explosively. The future of science and technology is very uncertain, and there are few reports and literature on the analysis of the development trend of science and technology culture. However, some trends can be predicted according to the direction of industry development and mathematical models. First, the prospects and directions of the development of professional energy fields and artificial intelligence large models are proposed. Secondly, it analyzes the cases of AI-enabled agriculture and drug development, and puts forward the inevitable trend of AI application in various industries. It is used as a reference for enterprise innovation and development, personal career planning and financial management.

## Keywords

Development trend; Forecast; Uncertain; Financial

# 变革时期下人工智能发展趋势分析

阎予成<sup>1</sup> 薛琴<sup>2</sup> 陈飞虎<sup>3,4</sup>

1. 湖南卫视，中国·湖南长沙 410000

2. 长沙市数据标注协会，中国·湖南长沙 410000

3. 井冈山大学机电工程学院，中国·江西吉安 343000

4. 湖南第一师范学院数学与统计学院，中国·湖南长沙 410000

## 摘要

目前，世界及中国正处于科技变革时期，以DEEPSEEK为代表的人工智能（AI）技术呈井喷式发展。人工智能（AI）技术正在与各个行业深度融合，其在很多领域都改变了人们的生活和工作方式。相关科技的未来发展具有很大的不确定性。现有报告及文献对科技文化等得技术和科技发展趋势分析方面的比较少，但根据行业发展的方向及数学模型等可以预测一些趋势。针对该问题，本课题组首先提出了专业的能源领域、人工智能大模型领域发展的前景和方向。其次，分析了AI赋能农业、药物开发等的案例，提出了AI在各个行业应用的必然趋势。本人可供企业创新发展、个人职业规划和理财等参考。

## 关键词

发展趋势；预测；不确定性；理财

## 1 引言

面对技术的飞速发展、经济上国际封锁等环境，有些人有焦虑：职业往何方向发展？子女的专业怎么选择？对未来科技和生活进行预测很有挑战和难度，公开出版的文献及分析报告相对较少<sup>[1]</sup>。但发展趋势还是有些规律是可循的，也是很有必要的。比如为企业数字化转型和规划做参考、个人的职业和学业规划等。以无人驾驶、无人机检测代替传统

人工作业、自动化产线、机器焊接等替代手工作业是效率等提高的必然趋势<sup>[2]</sup>。特别是面临人口减少、工作环境要求的提高以及针对有些护理、电焊工等专业技能要求岗位的空缺。如产品的发展有自身的规律和发展趋势：即朝着数字化、智能化、模块化、柔性化，减少人工的参与等方向发展。如饮食方面的预制菜等即属于该类。当然也有进食的食物要转化成的蛋白粉等营业通过生物萃取等技术直接转换过来的营养食品等（这类比较适应于办公一族）；穿的方面，去服装店试衣服也可以做“减法”，这就更省事了。在试衣镜前一站，智能系统就能显示出穿上该衣服的效果。如果植入一些算法的话，还可以根据顾客在试衣服过程的时间等记录的

【作者简介】阎予成（1972—），男，中国湖南长沙人，三级导演，从事导演研究。

参数等，智能推荐适合顾客性价比等要求的产品。相当于把红衣裁缝等多年沉淀的经验进行了“数字化”和“智能化”转化。事情是这样的：1964 年的一天，红衣裁缝余总被周恩来总理安排到钓鱼台国宾馆，目测来访的西哈努克亲王和夫人、王子，为他们三人做大衣、西装。余元芳不露声色，在一旁仔细观察后，默默记下三人的每一处尺寸；过两天送去三套服装，西哈努克一家穿上后又惊又喜，拍手叫绝。西装的立体裁剪有别于中装的平面裁剪，要讲究人的体形，穿出人的气派和风度，而且还要通过巧妙的裁剪，弥补顾客身材的缺陷，其难度可想而知，其中一个细节：在右肩垫了一个海绵垫，弥补了西哈努克右肩略低的体格，让国王十分满意<sup>[3]</sup>。而住的方面，也是符合“场”的应用的概念。比如晚上搞个磁悬浮的床，休息的同时可以进行磁疗保健等。白天把磁场断掉，把床收起来，又不占空间。改变了有些住户住房空间紧张的模式（兴许房地产老板不愿意看到该方式的普及）。通过目前人的生活水平于习惯，我们也不难预测房价：以后最不值钱的就是房子。出行的方面，如无人驾驶技术。现在的矿山很多都实现了该技术，在屏幕里只看到很多无人驾驶的矿车在忙碌的工作、避让，全过程无人操作。交易等也将由机械系统往“场”的方向发展，如高速收费的 ETC 的磁场。以后安检也是不用把身上的物品取下来，只要走过安检区就完成了。而且通过人脸识别等技术，嵌入一些算法，对犯罪前科的可以在通关的一群人几秒之内判断、比对出来，完全达到了“无感知”。可以预测，交叉应用也会飞速发展，如医工结合，无人机配送血液、人体器官等在很快的将来将会进入人的生活。他从一个医院楼顶送到另一个医院楼顶，不仅避免了人工费用高、堵车等风险，而且可以大大降低成本、提高效率。而最后到用的方面，到 5G 网络应用后，车站、饭店等流量都是通的，WIFI 就不用了；教育系统的教师扩音设备方面，智能系统可以自动捕捉讲课者的声音、放大。手持话筒带来的不方便就可以解除了。工科变压器等检测也可以通过声纳、机器狗等设备探测他是否受损等因素。大大提高了人工检测的成本。医院的空中操作的开关等按钮可以防范医生用手操作带来的二次污染。至于 AI 生成演讲稿及空中的演讲稿让演讲人“脱稿”的例子也在被广

泛应用。日常生活中，目前大家用的较多的“度娘”，即百度搜索引擎。慢慢就要过时了，因为它的知识更新等会不满足人们的要求了。取而代之的是大数据模型，CHATGPT 等，而且该平台的更新速度较快，目前已经 4.0 版本了。以上是通用大模型方面。在垂类的专业大模型方面，可以解决设计效果图专业的渲染、自动生产总结报告等功能。预计很快将被大众所接受和应用。目前的现状：大数据和“云”平台的出现，颠覆人的生活方式。如体育方面，系统可以根据人的生活轨迹，推荐和匹配一起打高尔夫球的朋友等。专门的抓拍软件，可以近距离的抓拍投篮等精彩瞬间，而不是像之前的 NBA 赛场，需要操作一个长长的摄像机。应用的较多的是网上购物等。例如，有朋友应用互联网的优势，用价格比对等小程序帮客户等挑选和推荐价格相对低的商品。当然这还是小范围的应用案例。据统计，人工智能专家模型抓药的平均水平要高于一般的职业医生，因为他后面是专家库的经验支撑。这些肺结核筛查、牙科诊断等已慢慢进入市场。以看牙医为例，以前一个医生一小时看 3-4 个病人，现在用 AI 软件，一小时可以扫描筛查几百上千个。有目前，人力招聘等的人工智能软件也在占据一席之地。在设计领域，初级或中级的设计师出的效果图也正在被通用大模型的工作顶替。传统的视频剪辑及广告的效果图也在被人工智能 SORA 等取代，这大大的降低了人工成本和节约的时间。足不出户，智能体软件 AGENT 已经可以根据您的喜好将你的需求选配、自主决策并送到你的办公桌前。通过模型微调，读入公司已有的大量项目设计案例，智能体可以做暖通设计等较繁琐的基础工作。可以预测，未来 2-3 年内，智能机器人等将会走进普通的家庭，约几成的工作将会实现智能化。有人预测，人工智能将会普及到各个领域。当然，现在正是过渡时期，需要人工对结果把一下关。

以下是对人工智能应用的一些分析：

## 2 人工智能大模型与各个领域的深度融合

目前，政府部门及各企业、高校等机构纷纷在部署人工智能平台。从东吴证券研究所绘制的行业发展时期图来看，AI 技术即将进入快速增长期<sup>[4]</sup>。

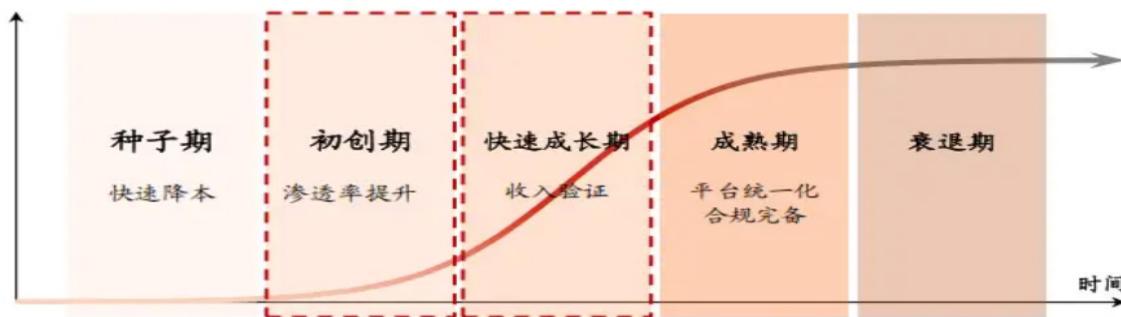


图 1 人工智能所处的发展时期

## 2.1 赋能教学

人工智能的机器学习等大模型井喷式发展，以后不是单看个人的能力水平，二十一定程度取决于有没有掌握人工智能大模型的应用。如专利导航分析等。很多技术水平低的重复性的劳动就被机器替代了，当然，技术也会带来很多新的岗位。科大讯飞电子产品的应用。其翻译机内置多个语种，可实现实时翻译。以批改作业的功能为例：在批改作业之前，把年级设置好，比如八年级，选择八年级的教材，然后点击 ai 作业诊断，试卷放在正下方，然后点一个立即诊断，进入大数据批改，然后你可以看到每个题都已经批改出来了，其次然后旁边还有他这个相应的一个知识点，并且还有知识图谱分析。比如说这道选择题你是蒙对的，那你就既可以好好看一下这个知识点，就是不能每次考试都靠蒙，对不对？我们可以看一下，举一反三，如果说他错了的话，根据分析图谱可以看到需要补习的相应的知识点。并且有自动生成老师讲解的建议稿文件等。

## 2.2 智慧农业

### 2.2.1 精准投喂

在猪圈中安装智能摄像头，嵌入各个品种的生长率与进食重量的函数关系算法和程序等。检测猪等对象的进食重量。进行严格控制，精准投喂，达到节约成本的目的。

### 2.2.2 育种

作物育种的核心是精准改造基因组以优化农艺性状，这需要系统理解基因与性状的关系。然而，传统基因功能研究高度依赖专家经验，周期长且效率低。以水稻育种为例，自 2005 年全基因组测序完成以来，全球已投入大量资金用于其基因功能研究。但根据“丰登”大语言模型对全球文献的系统分析，目前仍有约 90% 的水稻基因功能尚未明确。而玉米、大豆等主要作物的未知功能基因比例更高。

AI 技术能模拟分子生物学家自主开展作物基因功能研究。在它的辅助下，科研人员在主粮作物中成功发现了数十个此前未被报道的基因功能，并获得实验证实。有望提高作物分子设计育种效率，缩短育种周期，提升作物品质，为我国种业创新提供有力支撑。

## 2.3 AI 重塑药物开发的新范式

### 2.3.1 人工智能可以加速新药研发

AI 技术正在改变靶点发现模式。在传统的假设驱动研究模式下，研究者根据现有理论体系，推测某一蛋白在致病蛋白传播过程中发挥重要作用，再设计实验进行证实。这种模式不仅耗时耗力，更极易忽略现有理论体系外的诸多可能性如筛选所有基因中的潜在靶点，

在传统研究模式下，针对高创新性靶点的药物开发需

经历反复试错：研究者需从数以万计的分子中筛选出兼具活性与选择性、耐药性良好、吸收代谢特性优异且安全性达标的分子。符合这些要求的药物分子，才能进入临床阶段。这种高度依赖专家个人经验与创造力的方式往往消耗大量时间，带来高昂人力、物力成本。而 AI 蛋白结构预测和虚拟筛选技术能快速预测哪些分子最有可能成为有效药物。在一些案例中，AI 甚至可以在 48 小时内筛选 1 亿个化合物。

### 2.3.2 AI 模拟临床试验

“进入临床阶段后，AI 筛选的药物与传统药物一样没有捷径。但这并不意味着进入临床阶段后，AI 毫无作用。相反，这一阶段迫切需要 AI 介入。

传统临床试验在受试者招募、筛选、数据采集和质控等方面效率低下，这些问题导致经济和时间成本高，失败风险大。而 AI 可以优化患者招募标准，预测试验结果，模拟临床试验，为突破传统临床试验瓶颈提供新的思路和方法。

一些企业积极探索将 AI 技术用于临床试验结果预测。英矽智能利用自主研发的 AI 临床试验预测引擎“inClinico”，已准确预测了多项临床试验 II 期至 III 期的转化结果。

### 2.3.3 AI 与临床数据管理

在临床数据管理环节，AI 同样潜力巨大。平台能将临床研究报告初稿的生成时间减少。

AI 还可以优化临床试验方案。利用 AI 优化生长因子类药物临床试验方案，缩短转化周期。

AI 带来的变革已渗透到临床试验各个环节。根据调研机构 Precedence Research 的数据，2025 年全球 AI 临床试验市场规模将达到 26 亿美元，2034 年预计超过 223.6 亿美元。

## 3 总结建议

针对变革的形式，我们需要做好相应的对策。以下需要注意的几点：把握智能软件的底层逻辑、去拥抱他。以上这些也都是博士生选题的方向，即挑战与机遇是前人没有做过的成果。但总的来说信息还有不对称，多是对单点、耽搁行业的优化，缺少的是全面统筹。更深层挑战在于信任机制。未来仍需通过进一步提升 AI 决策系统的透明度、制定符合研究规范的透明化披露标准等方式，提升监管机构的信任。

## 参考文献

- [1] 广东省:2025年人工智能发展现状、未来趋势及典型行业应用分析报告 .2025-08-04
- [2] 彭英等.TRIZ理论在创新创业中的应用 (M).中国石化出版社.2021年
- [3] 光明日报.红帮裁缝：期待编织新的传奇.2007-10-30
- [4] 央广网.人工智能为药物研发按下“快进键”.2025-7-29

# Discussion on machine vision based leaf roasting debris online detection technology

Xiao Zhang

Xiangyang Roasting Factory, Hubei Tobacco Golden Leaf Roasting Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441000, China

## Abstract

As a critical stage in tobacco primary processing, the leaf beating and curing process is significantly impacted by foreign matter contamination, which severely affects product quality and downstream process stability. Traditional detection methods demonstrate notable limitations in both efficiency and accuracy, failing to meet modern continuous production requirements for real-time foreign matter removal. To address this challenge, this study proposes an online machine vision-based detection system that integrates image acquisition, feature recognition, and intelligent classification technologies. The proposed system achieves rapid detection and accurate identification of contaminants during leaf beating and curing processes. Through a well-structured system architecture combined with optimized image preprocessing, target segmentation, and classification algorithms, the detection system demonstrates enhanced stability and adaptability in complex backgrounds. Research findings indicate that this technology effectively reduces residual foreign matter while maintaining processing efficiency, demonstrating significant potential for widespread application and engineering implementation.

## Keywords

leaf roasting; debris detection; machine vision; online recognition; image processing

# 基于机器视觉的打叶复烤杂物在线检测技术探讨

张晓

湖北烟草金叶复烤有限责任公司襄阳复烤厂，中国·湖北 襄阳 441000

## 摘要

打叶复烤过程作为烟草初加工的重要环节，其杂物混入问题严重影响产品质量与后续工序稳定性。传统检测方法在识别效率和准确性方面存在明显短板，难以满足现代化连续生产对异物剔除的实时性和精确性要求。针对该问题，本文提出构建基于机器视觉的在线检测系统，融合图像采集、特征识别与智能判别等技术手段，实现对打叶复烤生产流程中杂物的快速检测与准确识别。通过搭建结构合理的系统架构，结合图像预处理、目标分割与分类算法优化，提高检测系统在复杂背景下的稳定性与适应性。研究表明，该技术可在保障烟叶加工效率的同时有效减少异物残留，具备良好的推广价值和工程应用前景。

## 关键词

打叶复烤；杂物检测；机器视觉；在线识别；图像处理

## 1 引言

随着烟草工业智能化进程的不断加快，对打叶复烤工序质量控制的精度与响应速度提出了更高要求。其中，杂物混入问题已成为制约烟叶加工纯度与产品一致性的重要因素。传统人工检测依赖经验判断，效率低、易疲劳，机械筛选手段则受限于杂物种类复杂、外形多变，常常无法实现高效剔除。在此背景下，机器视觉技术因具备非接触、自动化、可连续运行等优势，逐渐成为解决该问题的关键突破口。本文聚焦打叶复烤生产环境特征，结合杂物识别的实际需求，

系统分析机器视觉在图像采集、预处理、特征提取及目标识别等环节的技术应用路径，旨在探索构建一套集实时性、准确性和稳定性于一体的在线杂物检测解决方案。

## 2 打叶复烤生产过程中杂物检测的实际需求

打叶复烤生产线在原料输送、叶片剥离、筛分与叶丝复烤等多个工序中均存在杂物混入的风险，主要来源包括原烟原料夹带的非烟组分、运输环节产生的塑料膜条与绳线残留、设备磨损产生的金属碎片以及人员操作不当带来的异物投入。这些杂物在形态上存在明显差异，既包括可见体积较大的硬质异物，也包含柔性、色彩接近烟叶的小型杂质，常表现为不规则条块、片状、线状或粉末状，分布位置分散且嵌入性强，在高速连续输送过程中容易被烟叶覆盖或遮挡，

**【作者简介】**张晓（1997-），男，中国河南南阳人，硕士，从事电气自动化、嵌入式开发、烟叶杂物控制研究。

增加检测难度。不同类型杂物在外观、质地和光学特性上的复杂性，构成对识别系统提出精细化、多维度适配的基础需求。

### 3 机器视觉技术在杂物检测中的原理与适配性分析

#### 3.1 打叶复烤场景下图像采集与光学系统的配置策略

图像采集是机器视觉系统中的核心前端，直接决定杂物识别精度与系统响应速度。在打叶复烤生产线上，由于烟叶堆积松散、异物遮挡频繁、光线条件多变，采集装置需具备高速、高分辨率与宽视野特性，同时能适应强振动、高粉尘与高温高湿等复杂环境。针对目标物的材质与形状差异，可选用多光谱或红外成像设备增强对低对比度目标的响应能力，搭配工业镜头、偏振片与滤光器实现光学干扰最小化。光源设计需考虑异物反光特性与烟叶本体背景反差，在布光角度、强度与色温选择上进行优化配置，形成稳定、高信噪比的成像条件，为后续图像处理与识别建模提供高质量原始数据支撑<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 杂物图像特征提取与噪声抑制的关键方法

在图像采集完成后，需要通过特征提取算法将目标物与背景有效区分，形成描述性强、区分度高的图像表达。在打叶复烤场景中，杂物与烟叶在纹理、边缘、颜色等维度上存在微弱差异，因此必须采用多尺度滤波、梯度增强、边缘检测等手段综合提取关键视觉特征，同时引入颜色空间变换、形态学处理与局部对比增强方法提升目标清晰度。为减少烟叶纹理、光照波动与动态背景带来的误判干扰，需应用区域分割、背景建模与图像去噪等算法建立鲁棒性强的预处理流程。有效的特征提取不仅提升分类器训练效果，也为后续模型推理提供高质量输入，有助于实现高复杂度场景下的精准识别与分类响应。

### 4 打叶复烤杂物检测系统的整体结构与功能分区

#### 4.1 系统架构设计及各子模块之间的数据流关系

杂物在线检测系统由图像采集单元、图像处理单元、识别分析模块、剔除控制装置及数据管理接口组成，各功能模块以总线协议实现高速联通。在结构配置上，图像采集设备安装于输送带上方，实时捕获烟叶图像信息，经由处理平台进行去噪、增强与特征抽取，随后通过目标识别模块判断图像中是否存在杂物，并生成对应的空间坐标信息。识别结果与控制信号同步传输至剔除执行机构，通过气流、拨杆或电磁剔除装置实现精准分离。系统同时将识别数据上传至后台管理平台，用于统计分析、故障追踪与模型优化，形成闭环控制的数据链路。各模块在数据格式、通信协议与时间响应上实现高度协调，确保识别与剔除操作在毫秒级内完成。

#### 4.2 前端采集、实时处理与反馈控制的联动机制

系统运行以图像实时采集为起点，触发处理链路进入

高频率的数据解析状态。采集单元以高速相机与光源协同工作，输出标准化图像流供处理模块调用。处理单元部署于嵌入式工业控制平台上，运行图像预处理与目标识别算法，通过 GPU 加速实现毫秒级响应。识别模块输出识别结果与剔除位置参数，传送至控制逻辑中枢，调度相应时间窗内的剔除指令。剔除执行装置接收精准控制信号后，完成机械动作与杂物分离操作。整套机制以时间同步为核心，通过时间戳记录、帧号对齐与控制延迟补偿机制保持各环节稳定衔接，有效支撑高速连续生产条件下的精准检测与快速响应能力<sup>[2]</sup>。图 1 为均值化生产控制型打叶复烤的流程图

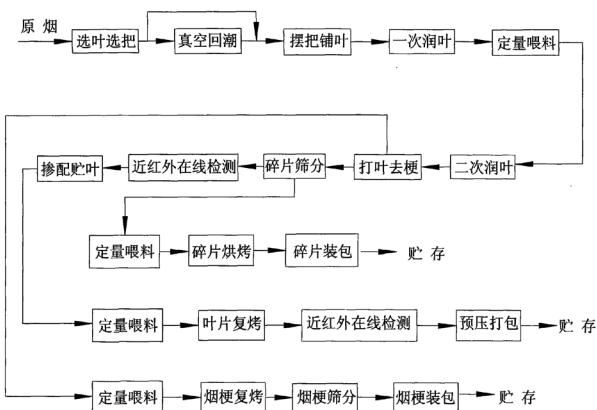


图 1 均值化生产控制型打叶复烤的流程图

### 5 基于机器视觉的杂物检测性能评价与优化手段

#### 5.1 检测精度、识别速度与系统响应时间的评价方法

杂物检测系统的性能评估需从识别准确率、处理效率与反馈时延三个维度展开。检测精度反映系统对各类杂物的识别能力，可通过混淆矩阵对真阳性、假阳性与漏检率进行量化分析。识别速度是图像处理与目标识别算法的运行时间，通常以单帧图像处理耗时衡量，控制在毫秒级以内为佳。系统响应时间则涵盖图像采集至剔除执行的完整时序，需在识别结果生成后迅速完成剔除动作指令下发与执行，以保障高速产线连续性<sup>[3]</sup>。实验中可通过对典型杂物设定不同检测场景，在恒定光照、不同背景干扰与多样杂物混合状态下进行检测精度与响应延迟的比对测试，验证系统性能的稳定性与实用性。

#### 5.2 复杂背景下算法鲁棒性提升路径与泛化能力分析

打叶复烤生产环境中的图像背景通常包含大量纹理、色彩渐变与动态遮挡，易对识别算法构成干扰，导致误检与漏检现象频发。算法鲁棒性提升可从数据扩增策略、特征抽取能力与网络结构优化等方面进行。通过引入不同光照、角度、遮挡程度下的图像样本，构建多样性强的训练数据集，有助于提升模型对复杂场景的适应性。加强多尺度特征融合与边缘细节提取能力，有利于弱边界异物的显现。泛化能力评价可在不同产线、不同杂物组合中验证模型识别稳定性与

抗干扰能力，结合交叉验证与迁移学习技术，实现模型跨环境部署的性能一致性，确保系统在多变工况下依然具备高可用性。

## 6 打叶复烤杂物在线检测系统的工程化部署与发展方向

### 6.1 生产线集成实施的技术关键点与调试方法

将杂物检测系统部署于实际打叶复烤产线中需解决设备匹配、安装布设、节拍同步与控制接口对接等关键问题。图像采集单元的安装位置需避开高反射区域与强震源点，并对采集角度与光源分布进行现场校准，确保图像覆盖区域完整且无死角。系统与现有输送带速度保持一致，通过脉冲编码器实时获取传输节奏信息，建立时间戳与图像帧号的精准对应关系。剔除装置的响应时序需根据传输带长度与运行速度反复调试，以实现杂物定位与剔除位置的准确匹配。系统联调过程中需进行稳定性连续测试与功能完整性验证，确保各子模块在整线运行中无干扰、无冲突、无丢帧，实现高效无缝集成。

### 6.2 系统运行中的故障诊断、维护与人机界面优化

系统在长期运行中可能出现采集延迟、图像失真、识别中断、剔除误动作等故障，为提升设备可维护性需建立完整的自诊断与预警机制。图像处理模块可配置状态监控程序实时判断数据流是否异常并自动记录错误日志，控制系统可设定阈值触发机制，对动作执行异常发出声光报警。维护策略包括模块化更换、高频接头防护与定期校准操作，确保系统关键部件始终处于最佳工作状态。人机交互界面设计应简洁直观，涵盖状态监控、故障诊断、手动干预与参数配置等功能，并提供权限管理、操作记录与远程调控能力，便于操作者掌握系统运行状态并快速应对突发问题，提升运行效率与管理便利性<sup>[4]</sup>。

### 6.3 面向智能制造的技术拓展与产业化前景分析

随着烟草行业向数字化、自动化、智能化深度转型，基于机器视觉的杂物检测系统在工业场景中的应用边界不

断拓展。未来可通过与 MES 系统、数据中台与质量追溯平台集成，实现杂物数据的实时上传、趋势分析与质量异常溯源，为企业提供数据驱动的精益管理支撑。检测模型可通过边缘计算与云端协同优化策略实现自学习与远程迭代，适应不断变化的生产工况与杂物特征，增强系统智能化水平。在产业链层面，该系统具备高适配性、高扩展性与良好的经济性，能够在卷烟加工、农产品处理、食品分选等多个领域复制推广，推动工业视觉检测技术在更广泛领域实现价值落地与规模化发展。

## 7 结语

基于机器视觉的打叶复烤杂物在线检测技术在提高杂物识别效率、保障烟叶加工质量、推动智能制造升级方面展现出显著优势。通过对图像采集、特征提取、目标识别与控制响应等核心环节的系统优化，可实现复杂工况下对多类型杂物的高效精准剔除，突破传统检测手段在精度、速度与稳定性上的瓶颈。该技术不仅提升了生产线的自动化与数字化水平，也为构建智能质控体系奠定了技术基础，具有良好的工程推广价值与应用前景。未来可结合数据融合、远程运维与模型自进化机制，持续拓展系统功能，实现更高层次的产业赋能与管理协同。

## 参考文献

- [1] 张元,孙惟刚,李汉尧,宁佳宏,丁国忠.浅谈打叶复烤工艺中除杂研究进展[J].中国设备工程,2023,(16):120-123.
- [2] 杨家琪,何晓健,潘志玲,郭宇锋,何锦,刘跃荣,张晓皎,王发勇.打叶复烤均质化加工核心指标控制的研究进展[J].农产品加工,2022,(12):88-91+100.
- [3] 李锐洪,张照德,李雁,王荣康,段学通,苏吉传,周龙辉.红塔烟草(集团)有限责任公司,打叶复烤除麻丝设备在线全时自清理技术的开发应用[Z].项目立项编号:2020GY04.鉴定单位:云南中烟工业有限责任公司.鉴定日期:2022-05-25.
- [4] 杨波,彭振兴,卢幼祥,杨继福,王绍林,尹良余,潘红源.打叶复烤不同工艺路径对烟叶基部处理的影响研究[J].湖南文理学院学报(自然科学版),2021,33(03):91-94.

# The integration of broadcast TV and the metaverse—Open a new era of immersive audiovisual

Jing Fang

Yunnan Radio and Television Station, Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

With the rise of the metaverse concept, radio and television stations are facing both new challenges and opportunities. This paper delves into the definition, characteristics, and technological foundations of the metaverse, analyzes the feasibility of its integration with broadcasting institutions, proposes specific convergence pathways, and showcases practical achievements through case studies. Finally, it outlines future development prospects for media-station-metaverse integration and offers corresponding recommendations. As traditional media organizations, radio and television stations face challenges such as audience attrition and declining advertising revenue in the digital era. Meanwhile, the metaverse's development presents new opportunities for these institutions. By integrating with the metaverse, they can expand program formats and content, enhance audience interaction and engagement, and explore innovative business models.

## Keywords

metaverse; radio and television station; media industry

# 广播电视台与元宇宙的融合探索——开启沉浸式视听新纪元

方晶

云南广播电视台，中国·云南昆明 650000

## 摘要

随着元宇宙概念的兴起，广播电视台面临着新的挑战与机遇。本文深入探讨了元宇宙的定义、特征和技术基础，分析了广播电视台与元宇宙融合的可行性，提出了具体的融合路径，并通过案例分析展示了融合的实践成果。最后，对广播电视台与元宇宙融合的未来发展进行了展望，并提出了相应的建议。广播电视台作为传统的媒体机构，在数字时代面临着观众流失、广告收入下降等挑战。与此同时，元宇宙的发展也为广播电视台带来了新的机遇，通过与元宇宙的融合，广播电视台可以拓展节目形式与内容，增强观众互动与参与度，开拓新的商业模式。

## 关键词

元宇宙；广播电视台；传媒行业

## 1 引言

本研究旨在探索广播电视台与元宇宙的融合路径，为广播电视台在元宇宙时代的发展提供理论支持和实践指导。具体而言，本研究的意义在于：推动广播电视台的创新发展。通过引入元宇宙技术，广播电视台可以打造更加丰富、多样化的节目形式，提升观众的视听体验，增强自身的竞争力。

促进传媒行业的转型升级。广播电视台与元宇宙的融合将为传媒行业带来新的发展机遇，推动行业向数字化、智能化、沉浸式方向转型升级。满足观众日益增长的文化需求。元宇宙的沉浸式体验和社交互动性可以为观众带来更加丰富、个性化的文化娱乐体验，满足观众日益增长的文化需求<sup>[1]</sup>。

## 2 元宇宙概述

### 2.1 元宇宙的定义与特征

元宇宙是一个虚拟与现实高度融合的数字世界，它由多种技术共同构建而成，包括虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、人工智能、区块链、5G 通信等。在元宇宙中，人们可以通过数字化身进行社交、娱乐、学习、工作等各种活动，实现虚拟与现实的无缝连接。

#### 特征

虚拟与现实的融合。元宇宙中的虚拟世界与现实世界相互融合，人们可以在虚拟世界中进行各种活动，同时也可与现实世界进行交互。

沉浸式体验。元宇宙通过虚拟现实、增强现实等技术为人们带来沉浸式的视听体验，让人们仿佛置身于一个全新的世界之中。

社交互动性。元宇宙是一个社交平台，人们可以通

【作者简介】方晶（1983-），女，中国云南昆明人，本科，中级编辑，从事编辑研究。

过数字化身与其他用户进行社交互动，分享自己的体验和感受。

开放性与创造性。元宇宙是一个开放的平台，任何人都可以在其中创造和分享自己的内容，实现个性化的表达和创造。

## 2.2 元宇宙的技术基础

### 2.2.1 虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术

VR 技术可以为用户提供完全沉浸式的虚拟体验，让用户感觉自己置身于一个虚拟的世界之中。AR 技术则可以将虚拟信息叠加在现实世界中，为用户提供增强现实的体验。

### 2.2.2 人工智能与机器学习

人工智能和机器学习技术可以为元宇宙中的虚拟角色和智能体提供智能化的行为和交互能力，让用户感觉更加真实和自然。

### 2.2.3 区块链技术

区块链技术可以为元宇宙中的数字资产和交易提供安全、透明、可追溯的保障，确保用户的权益和资产安全。

### 2.2.4 5G 通信技术

5G 通信技术的高速率、低延迟、大容量等特点可以为元宇宙中的实时交互和高清视频传输提供技术支持，确保用户的体验流畅和稳定。

## 2.3 元宇宙在传媒领域的应用现状

### 2.3.1 新闻报道中的虚拟场景应用

一些新闻机构已经开始尝试利用虚拟现实技术为观众提供更加真实、直观的新闻报道。例如，通过虚拟现实技术，观众可以身临其境地感受新闻事件现场的氛围，增强新闻的感染力和影响力。

#### 影视娱乐产业的元宇宙探索

影视娱乐产业也在积极探索元宇宙的应用，例如通过虚拟现实技术为观众提供沉浸式的电影体验，或者通过元宇宙平台为观众提供互动式的影视娱乐内容。

### 2.3.2 广告营销的创新模式

元宇宙为广告营销带来了新的创新模式，例如通过虚拟现实技术为用户提供沉浸式的广告体验，或者通过元宇宙平台为品牌提供个性化的营销服务<sup>[2]</sup>。

## 3 广播电视台与元宇宙融合的可行性分析

### 3.1 广播电视台的优势

#### 3.1.1 专业的内容制作能力

广播电视台拥有专业的内容制作团队和丰富的制作经验，可以为元宇宙提供高质量的内容支持。

#### 3.1.2 品牌影响力与公信力

广播电视台作为传统的媒体机构，具有较高的品牌影响力和公信力，可以为元宇宙的发展提供信任保障。

#### 3.1.3 广泛的受众基础

广播电视台拥有广泛的受众基础，可以为元宇宙的推广和普及提供用户基础。

## 3.2 元宇宙为广播电视台带来的机遇

### 3.2.1 拓展节目形式与内容

通过与元宇宙的融合，广播电视台可以拓展节目形式与内容，例如打造虚拟现实节目、互动式节目等，为观众带来更加丰富、多样化的视听体验。

### 3.2.2 增强观众互动与参与度

元宇宙的社交互动性可以为广播电视台的节目带来更多观众互动和参与度，例如通过虚拟现实技术让观众参与节目录制、互动投票等，增强观众的粘性和忠诚度。

### 3.2.3 开拓新的商业模式

元宇宙为广播电视台开拓了新的商业模式，例如通过虚拟现实广告、数字藏品销售等方式为广播电视台带来新的收入来源。

## 3.3 融合面临的挑战

### 3.3.1 技术门槛与成本投入

元宇宙的技术门槛较高，需要投入大量的资金和人力进行技术研发和设备采购。对于广播电视台来说，这是一个较大的挑战。

### 3.3.2 人才短缺与培养

元宇宙的发展需要大量的专业人才，包括虚拟现实技术人才、人工智能人才、区块链技术人才等。目前，这些人才相对短缺，需要广播电视台加强人才培养和引进。

### 3.3.3 监管与法律问题

元宇宙是一个新兴的领域，目前还缺乏完善的监管和法律体系。对于广播电视台来说，在与元宇宙融合的过程中需要面对监管和法律方面的不确定性<sup>[3]</sup>。

## 4 广播电视台与元宇宙融合的具体路径

### 4.1 虚拟演播室的建设与应用

#### 4.1.1 技术实现方式

虚拟演播室是利用虚拟现实技术构建的一个虚拟的节目录制环境。通过虚拟演播室，广播电视台可以实现更加灵活、多样化的节目录制和制作。虚拟演播室的技术实现方式主要包括以下几个方面：

(1) 虚拟现实技术：利用虚拟现实技术构建虚拟的节目录制环境，包括场景、道具、角色等。

(2) 动作捕捉技术：通过动作捕捉技术捕捉主持人和嘉宾的动作，实现虚拟角色的动作同步。

(3) 实时渲染技术：利用实时渲染技术对虚拟场景进行实时渲染，确保画面的流畅和真实感。

#### 4.1.2 节目制作流程的变革

虚拟演播室的建设将带来节目制作流程的变革。传统的节目制作流程需要在实体演播室中进行录制和制作，而虚拟演播室则可以实现远程录制和制作，大大提高了制作效率和灵活性。同时，虚拟演播室还可以实现更加复杂的特效和场景切换，为节目制作带来更多的创意和可能性。

### 4.1.3 优势与效果分析

虚拟演播室的建设与应用具有以下优势和效果：

(1) 提高制作效率和灵活性。虚拟演播室可以实现远程录制和制作，大大提高了制作效率和灵活性。同时，虚拟演播室还可以实现更加复杂的特效和场景切换，为节目制作带来更多的创意和可能性。

(2) 增强视觉效果和沉浸感。虚拟演播室可以构建出更加逼真、绚丽的虚拟场景，为观众带来更加震撼的视觉效果和沉浸感。

(3) 降低制作成本。虚拟演播室的建设和维护成本相对较低，可以为广播电视台节省制作成本。

## 4.2 虚拟主持人的打造

### 4.2.1 设计与开发

虚拟主持人是利用人工智能和虚拟现实技术打造的一个虚拟的主持人形象。虚拟主持人的设计与开发需要考虑以下几个方面：

(1) 形象设计：虚拟主持人的形象设计需要符合广播电视台的品牌形象和节目风格，同时也要具有较高的辨识度和吸引力。

(2) 语音合成：虚拟主持人的语音合成需要具有较高的自然度和流畅度，能够与观众进行自然的交流和互动。

(3) 动作捕捉：虚拟主持人的动作捕捉需要具有较高的精度和流畅度，能够实现与主持人和嘉宾的自然互动。

**特点与优势**

### 4.2.2 虚拟主持人具有以下特点和优势：

(1) 不受时间和空间限制。虚拟主持人可以随时随地进行节目录制和直播，不受时间和空间的限制。

(2) 具有较高的稳定性和可靠性。虚拟主持人不会受到情绪、疲劳等因素的影响，具有较高的稳定性和可靠性。

(3) 可以实现个性化定制。虚拟主持人的形象、语音、动作等可以根据不同的节目需求进行个性化定制，为节目带来更多的创意和可能性。

### 4.2.3 与真人主持人的协作模式

虚拟主持人与真人主持人可以通过以下协作模式进行节目录制和直播：

(1) 分工协作。虚拟主持人和真人主持人可以根据不同的节目需求进行分工协作，例如虚拟主持人负责介绍节目内容、引导观众互动等，真人主持人负责深入解读新闻事件、采访嘉宾等。

(2) 互动协作。虚拟主持人和真人主持人可以通过互动协作的方式进行节目录制和直播，例如虚拟主持人可以与真人主持人进行对话、互动游戏等，增强节目的趣味性和互动性。

## 4.3 元宇宙中的直播与互动节目

### 4.3.1 直播形式的创新

元宇宙中的直播可以采用虚拟现实直播、全景直播等

形式，为观众带来更加真实、直观的直播体验。同时，元宇宙中的直播还可以实现观众与主播的实时互动，例如观众可以通过数字化身与主播进行互动交流、参与节目互动环节等。

### 4.3.2 互动方式的多样化

元宇宙中的互动节目可以采用多种互动方式，例如虚拟现实游戏、互动投票、在线问答等，为观众带来更加丰富、多样化的互动体验。同时，元宇宙中的互动节目还可以实现观众之间的社交互动，例如观众可以通过数字化身与其他观众进行社交互动、组建社交圈子等。

### 4.3.3 观众参与的激励机制

为了鼓励观众积极参与元宇宙中的直播与互动节目，广播电视台可以建立观众参与的激励机制，例如设立奖励制度、提供虚拟礼品等。同时，广播电视台还可以通过数据分析和用户画像等方式了解观众的需求和兴趣，为观众提供更加个性化的服务和体验。

## 4.4 基于元宇宙的广告与营销模式创新

### 4.4.1 沉浸式广告体验

元宇宙中的广告可以采用沉浸式广告体验的形式，例如通过虚拟现实技术为用户提供沉浸式的广告体验，让用户在虚拟世界中感受品牌的魅力和价值。同时，元宇宙中的广告还可以实现与用户的互动和参与，例如用户可以通过数字化身与广告进行互动、参与广告互动环节等。

### 4.4.2 品牌合作与推广

广播电视台可以与品牌进行合作，在元宇宙中开展品牌推广活动。例如，广播电视台可以与品牌合作打造虚拟现实品牌体验店、举办虚拟现实品牌活动等，为品牌提供更加个性化、沉浸式的推广服务。

### 数据驱动的精准营销

元宇宙中的广告和营销可以采用数据驱动的精准营销方式，通过数据分析和用户画像等方式了解用户的需求和兴趣，为用户提供更加个性化、精准的广告和营销服务。同时，元宇宙中的广告和营销还可以实现实时监测和反馈，及时调整广告和营销策略，提高营销效果和转化率。

## 5 未来展望与建议

### 广播电视台与元宇宙融合的发展趋势

### 5.1 技术的不断进步与应用拓展

随着元宇宙技术的不断进步和应用拓展，广播电视台与元宇宙的融合将更加深入和广泛。未来，广播电视台将更加注重技术创新和应用，不断探索新的节目形式和内容，为观众带来更加丰富、多样化的视听体验。

### 5.2 内容创新与用户需求的驱动

内容创新是广播电视台与元宇宙融合的核心驱动力。未来，广播电视台将更加注重用户需求的分析和研究，根据用户的需求和兴趣进行内容创新和制作，为用户提供更加个

个性化、优质的服务和体验。

### 5.3 产业生态的逐步完善

广播电视台与元宇宙的融合将带动相关产业的发展，形成一个完整的产业生态。未来，随着产业生态的逐步完善，广播电视台将与更多的企业和机构进行合作，共同推动元宇宙的发展和应用。

## 6 结论

广播电视台与元宇宙的融合是传媒行业未来的发展趋势。通过与元宇宙的融合，广播电视台可以拓展节目形式与内容，增强观众互动与参与度，开拓新的商业模式。本文通过对元宇宙的定义、特征和技术基础的分析，探讨了广播电

视台与元宇宙融合的可行性，提出了具体的融合路径，并通过案例分析展示了融合的实践成果。最后，对广播电视台与元宇宙融合的未来发展进行了展望，并提出了相应的建议。

### 参考文献

- [1] 陈海峰. 从“元宇宙”感知下一代互联网——读《元宇宙：开启未来世界的六大趋势》[J]. 企业文明, 2022, (06): 16.
- [2] 兰丽玉, 沈颂东. 浅析元宇宙环境下通证经济的金融风险与对策 [J]. 商展经济, 2023, (01): 13-15. DOI:10.19995/j.cnki.CN10-1617/F7.2023.01.013.
- [3] 张嘉. 新媒体改革创新 传媒业向未来 [J]. 文化产业, 2025, (21): 73-75.

# Research on the Strength Enhancement Technology of Long Tube Set EPDM Rubber Joint

Fengtao Lu Chonggeng Zhang Haipeng Zhang Fan Zhang Cong Li

China Aerospace Science and Industry Corporation Sixth Research Institute 210, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

## Abstract

Currently, the insulation layer of solid rocket engines is generally made of EPDM rubber material, and the structure of the combustion chamber shell determines that the shape of the insulation layer is mostly a cylindrical structure. For the EPDM insulation layer with a long cylindrical structure, it is usually formed by Haff mold pressing. The strength of the mold joint formed by this process is lower than that of the substrate, and the mold joint of thin-walled parts is prone to tearing, occasionally resulting in mold joint demolding cracking. Therefore, it is necessary to carry out research on the strength improvement technology of the long tube set EPDM rubber joint to solve this problem and improve the quality of product molding.

## Keywords

long tube sleeve; EPDM rubber; Sealing seam strength; research

# 长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究

鲁锋涛 张崇耿 张海鹏 张帆 李聪

中国航天科工集团第六研究院 210 所, 中国·陕西 西安 710065

## 摘要

目前, 固体火箭发动机绝热层普遍采用三元乙丙橡胶材料, 而燃烧室壳体的结构决定了绝热层的形状多为筒套状结构, 对于长筒套结构的三元乙丙橡胶绝热层, 通常采用哈夫模模压成型, 此工艺形成的产品合模缝强度较基体偏低, 薄壁件合模缝易撕裂, 偶发合模缝脱模开裂现象。为此, 有必要开展长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究, 以解决该问题, 提高产品成型质量。

## 关键词

长筒套; 三元乙丙橡胶; 合模缝强度; 研究

## 1 引言

目前, 固体火箭发动机绝热层普遍采用三元乙丙橡胶材料, 而燃烧室壳体的结构决定了绝热层的形状多为筒套状结构, 对于长筒套结构的三元乙丙橡胶绝热层, 通常采用哈夫模模压成型, 此工艺形成的产品合模缝强度较基体偏低, 薄壁件合模缝易撕裂, 偶发合模缝脱模开裂现象。

为此, 有必要开展长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究, 以解决该问题, 提高产品成型质量。

## 2 研究思路

长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究思路如下:

a) 对长筒套三元乙丙橡胶的成型过程进行深入分析, 确定材料配方、模具结构对合模缝强度影响的关键点;

b) 依据分析结果, 双管齐下, 分别从材料配方及模具结构方面提出优化改进方案;

c) 开展配方优化、常规性能测试, 同步开展模具设计;

d) 进行小样(缩小型长筒套)工艺试验及性能测试;

e) 小样试验合格后, 进行产品级长筒套工艺试验, 性能测试。

研究流程见图 1。

## 3 机理分析

针对长筒套的成型过程展开分析, 模压时, 型腔内胶料沿芯模上下半圆流动, 上半圆向下流动, 下半圆向上流动, 二者在合模缝部位汇合后, 多余胶料沿合模面水平溢出, 如图 2 所示。

经成型过程分析可以发现, 合模缝强度提升需满足以下条件:

a) 材料具有良好的自粘性, 上下胶料汇合后应融合可靠;

b) 模具在合模面部位具备良好的密封功能, 以及防止

【作者简介】鲁锋涛(1983-), 男, 中国陕西西安人, 高级工程师, 从事复合材料成型、工艺装备设计研究。

过度溢胶功能，确保合模缝部位不泄压。

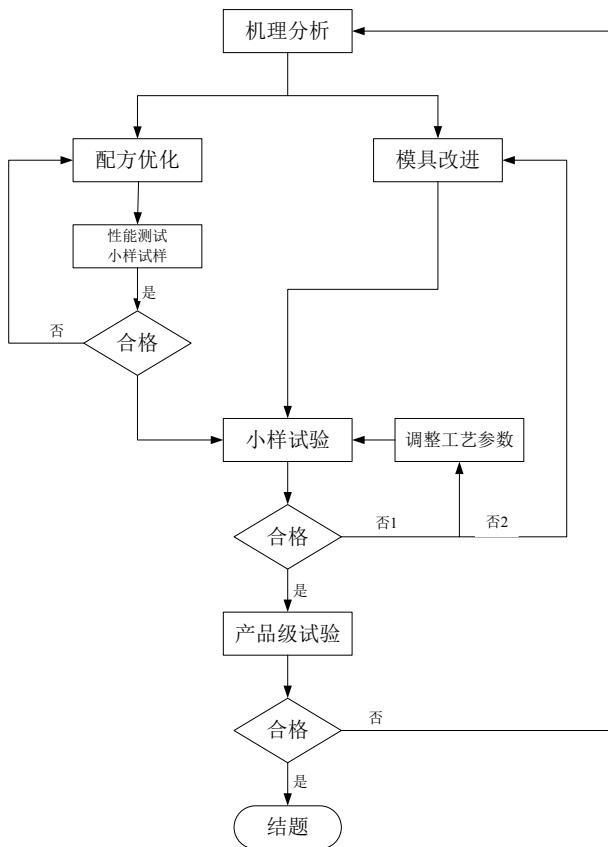


图 1 研究流程

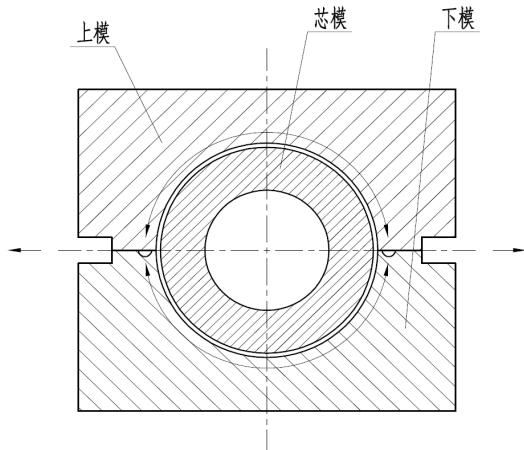


图 2 胶料流向示意图

## 4 改进措施

### 4.1 材料配方改进

当前，绝热层材料为三元乙丙橡胶体系，其基体材料为非极性的三元乙丙橡胶，自粘性和互粘性较差，另外，材料中芳纶纤维含量较高，进一步降低自粘性。经分析，材料配方特性与成型需求相矛盾，为此，从以下方面优化：

a) 基体橡胶并用极性较大的橡胶材料，提高极性，增

加材料自粘性、互粘性；

- b) 配方中增加相匹配的增粘体系，进一步提高粘接性；
- c) 适当减少芳纶纤维，增加塑性阻燃剂，以提高绝热层成碳性、流动性和弥合性。

### 4.2 成型模具结构改进

现阶段，用以压制长筒套三元乙丙橡胶的哈夫模合模面为平面（与工作台平行）结构，通过机理分析，水平合模面对溢出胶料无法限制，合模到位瞬间，胶料可能出现过度溢出现象，存在合模缝部位压力偏低，胶料发虚风险，为此，模具改进方案如下：

- a) 合模面改为斜面（斜上），增加溢胶阻力，合模时，对溢出胶料产生逆向分力，防止过度溢胶；
- b) 合模面增加小型储胶槽，合模后，形成胶条密封措施，确保密封保压；
- c) 结构适应性改进，增加导向结构，确保合模顺畅。

成型模具结构改进示意图见图 3。

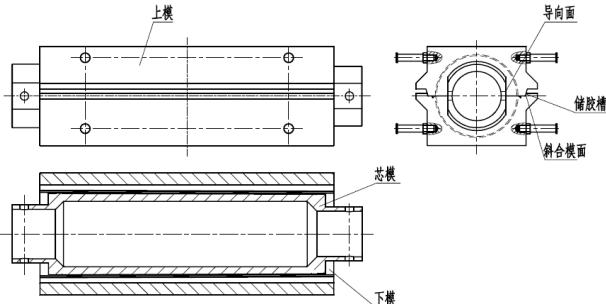


图 3 成型模具结构改进示意图

### 4.3 成型工艺参数摸索

合模压力、合模速度、装料方式以及装料量等均影响合模缝的成型外观质量、强度，经过多轮工艺试验，摸索出成型工艺参数如下：

- a) 合模压力：按模具投影面积计算，6MPa 压力即可保证模具合模到位；
- b) 合模速度：合模速度尽可能慢，确保胶料充分流动，在模具装料行程内（装料高度），点动控制平板硫化机升降，分 3 次走完行程，中间间歇 2min；
- c) 装料方式：本文介绍的是沿芯模上下分瓣装料方式，要求装料左右对称，前后均匀，两侧装料离合模缝预留 10mm 胶料流动空间。至于沿芯模包裹式装料工艺，因存在搭接区，本文未做试验研究；
- d) 装料量：按净重的 110% ~ 115% 进行装料。

## 5 试验与分析

### 5.1 材料配方优化试验与结果分析

为验证配方改进效果，设计三组对比试验：对照组采用原配方，试验组 1 在基体中并用 30% 极性橡胶（如氯丁橡胶），试验组 2 在试验组 1 基础上添加 5% 增粘树脂（如

萜烯树脂)并减少 3% 芳纶纤维、增加 5% 塑性阻燃剂(磷酸酯类)。通过测试胶料自粘性(采用 90° 剥离试验, 测试未硫化胶料的初始粘合力)和硫化后合模缝强度(拉伸强度测试), 结果显示: 对照组自粘性为 0.8N/cm, 合模缝拉伸强度为 4.8MPa; 试验组 1 自粘性提升至 1.3N/cm, 合模缝强度达 5.2MPa; 试验组 2 自粘性进一步提升至 1.6N/cm, 合模缝强度突破 5.6MPa, 且成碳性(800°C 残炭率)从原配方的 25% 提高至 32%, 满足绝热层耐高温要求。

## 5.2 模具结构改进后的有限元仿真验证

利用 ABAQUS 软件对改进前后的模具合模过程进行仿真分析, 重点模拟胶料在合模缝处的压力分布。原平面合模面在合模到位瞬间, 合模缝区域压力骤降至 4.3MPa, 存在明显泄压; 改进后的斜面合模面(倾斜角度 15°)配合储胶槽(宽 5mm × 深 3mm)结构, 合模过程中胶料溢出阻力增大, 合模缝区域压力稳定维持在 5.8MPa, 且储胶槽内形成的密封胶条能有效阻止后期泄压。仿真结果与实际试验一致, 验证了模具改进方案的合理性。

## 5.3 工艺参数优化的正交试验设计

选取合模压力(5MPa、6MPa、7MPa)、合模次数(2 次、3 次、4 次)、装料系数(110%、112%、115%)作为正交试验因素, 以合模缝强度和外观质量为评价指标。结果表明: 当合模压力 6MPa、分 3 次合模(间歇 2min)、装料系数 112% 时, 综合效果最佳——合模缝强度达 6.2MPa, 溢胶飞边控制在 0.06mm 以内, 无缺胶或过压导致的变形现

象, 为批量生产提供了参数依据。

## 6 验证情况

从材料优化后的性能测试、小样试验, 以及模具改进后的小样联合试验到产品级试验, 所有试验结果达到预期, 成型后的三元乙丙橡胶筒套外观光滑平整, 无合模缝撕裂、开裂现象。

## 7 结语

通过开展长筒套三元乙丙橡胶合模缝强度提升技术研究, 从材料配方、模具结构方面双管齐下, 采取相应优化改进措施, 合模缝强度取得显著改善, 后续还需进一步试验, 进行性能稳定性验证。

## 参考文献

- [1] 张韶姣, 刘林国, 孙学红. 聚乙二醇脂肪酸酯对三元乙丙橡胶胶料脱模效果的影响[J]. 橡胶工业, 2025, 72(07):539-544.
- [2] 戴明浩, 赵铜鑫, 赵薇, 等. 高压直流电缆系统交联聚乙烯/三元乙丙橡胶界面的匹配特性研究[J]. 高压电器, 2025, 61(07):179-188+196. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2025.07.021.
- [3] 侯敏, 马建桥, 马磊, 等. 动车组车顶环氧树脂绝缘子合模缝对闪络路径的影响分析[J]. 绝缘材料, 2024, 57(07):94-102. DOI: 10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2024.07.012.
- [4] 侯兰杰, 彭倩倩, 刘宽, 等. 三元乙丙橡胶板式支座性能测试与有限元模型的二次开发[J/OL]. 橡胶工业, 1-5[2025-08-18]. <https://link.cNKI.net/urlid/11.1812.TQ.20250612.1441.002>.

# Exploration of New Technologies for Corrosion Protection of Ship and Ocean Engineering Structures

Yan Jin

Shanghai COSCO Shipping Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

## Abstract

Ships and marine engineering structures have been exposed to complex and harsh marine environments for a long time, and corrosion problems seriously threaten their safety and service life, causing huge economic losses. Traditional corrosion protection technologies have certain limitations in addressing marine environmental challenges, therefore, it is urgent to explore new and efficient corrosion protection technologies. This article summarizes the corrosion problems faced by ships and marine engineering structures, and provides a detailed introduction to various new corrosion protection technologies that have emerged in recent years. It is expected to provide more reliable and long-term corrosion protection for ships and marine engineering structures, and promote the sustainable development of the marine industry.

## Keywords

Ship and Ocean Engineering; Corrosion protection; New technology

# 船舶与海洋工程结构腐蚀防护新技术探索

金艳

上海中远海运重工有限公司，中国 · 上海 201913

## 摘要

船舶与海洋工程结构长期处于复杂且恶劣的海洋环境中，腐蚀问题严重威胁其安全性与使用寿命，造成了巨大的经济损失。传统的腐蚀防护技术在应对海洋环境挑战时存在一定的局限性，因此，探索新型高效的腐蚀防护技术迫在眉睫。本文综述了船舶与海洋工程结构面临的腐蚀问题，详细介绍了近年来涌现的多种新型腐蚀防护技术，有望为船舶与海洋工程结构提供更可靠、更长效的腐蚀防护，推动海洋产业的可持续发展。

## 关键词

船舶与海洋工程；腐蚀防护；新技术

## 1 引言

海洋覆盖了地球约 71% 的表面，航海和海洋产业已成为世界经济发展的重要支柱，国际贸易中 90% 以上的运力依靠海洋运输。同时，海洋平台是油气资源开发的关键，海上风电作为新能源也在近年来得到大力发展。然而，海洋环境极为苛刻，船舶与海洋工程结构在其中面临着严重的腐蚀问题<sup>[1]</sup>。在海洋环境中，船舶与海洋平台的腐蚀问题尤为突出，已成为影响其服役安全、寿命和可靠性的最重要因素，引起了各国政府和工业界的高度重视。因此，大力开展海洋工程防腐材料和技术，对保障船舶与海洋工程的服役安全与可靠性、降低事故发生率、延长构筑物使用寿命具有重大意义。

## 2 船舶与海洋工程结构腐蚀现状及传统防护技术局限性

### 2.1 腐蚀现状

船舶与海洋工程结构的主要失效形式多样，包括均匀腐蚀、点蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、腐蚀 / 磨损、海生物（宏生物）污损、微生物腐蚀、H<sub>2</sub>S 与 CO<sub>2</sub> 腐蚀等。在海洋大气区，由于存在 Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等离子，以及日照和海风的作用，即使采取了一定的腐蚀防护措施，结构仍会发生严重腐蚀。浪花飞溅区的腐蚀速率最高，潮差区次之。研究表明，海洋腐蚀最严重的部位大约位于平均海平面以上 0.6 - 1.4m 左右，同一种材料在浪花飞溅区的腐蚀速率比全浸区高 3 - 10 倍。在潮差区和全浸区的较浅区域，海洋生物的污损不仅会使船舶航速显著降低，还会因重量增加威胁整个海洋平台的安全。这些腐蚀问题不仅影响结构的性能和安全，还导致了高昂的维修和更换成本。

【作者简介】金艳（1981-），男，中国上海人，本科，工程师，从事船舶与海洋工程研究。

## 2.2 传统防护技术局限性

传统的腐蚀防护技术主要包括涂料(涂层)、耐腐蚀材料、表面处理与改性、电化学保护(牺牲阳极、外加电流阴极保护)、缓蚀剂等。涂料是船舶和海洋结构腐蚀控制的首要手段,然而,传统的海洋防腐涂料存在诸多问题。例如,其防护期效较短,一般为 1 - 10 年,难以满足长期服役的需求;涂层结合强度低,通常在 3 - 6MPa,容易剥落;并且涂料中含有大量有机挥发物(VOCs),对环境造成严重污染。耐腐蚀材料方面,我国传统耐蚀钢的研发参照美国 1995 年提出的 I 指数,仅考虑了 Cu、P、Cr 和 Ni 元素对材料耐蚀性的影响,忽略了钢中夹杂物类型、微观组织结构变化和环境因素波动的作用,导致耐蚀钢的环境适应性差,维护成本高。表面处理与改性技术在复杂结构和水下施工时面临技术壁垒,难以全面有效地实施<sup>[2]</sup>。电化学保护系统在水下环境中易因泥沙覆盖、生物附着等原因导致保护失效。缓蚀剂则主要适用于介质相对固定的内部结构,应用范围有限。因此,开发新型的腐蚀防护技术已成为船舶与海洋工程领域的当务之急。

# 3 船舶与海洋工程结构腐蚀防护新技术

## 3.1 纳米复合涂层技术

纳米复合涂层技术将纳米材料均匀混合到传统基体材料当中去,制成功能很强的功能涂层,依靠纳米颗粒的尺寸效应、表面效应和量子尺寸效应,明显加强涂层的总体性能。如今,纳米氧化物、碳纳米管以及金属纳米粒子等已经被大量应用到这类涂层的制造过程里,在实际使用过程中,这些纳米成分不但能很好地填充涂层内部的小孔,大幅度提高涂层的致密度,阻挡腐蚀介质渗透,而且还能和聚合物分子产生协同效果,极大地改善涂层的力学强度和附着能力。

纳米复合涂层凭借优良性能在工程应用方面具有重要价值,其防护特性明显延长了结构件服役寿命,纳米粒子加入后涂层硬度、耐磨性以及抗划伤能力大幅改善,抵抗海洋环境里机械应力引发的损害和磨损,此类涂层拥有很好的自修复能力,某些纳米材料在表面破损时会释放出修复分子,自动填满涂层漏洞<sup>[3]</sup>。当下,国际知名涂料厂商采用中国生产的纳米氧化物浓缩液,通过特定工艺制作出高品质船舶专用纳米复合涂料,应用于舰船领域,保护效果非常出色。海洋平台防腐蚀工程当中,采用纳米复合涂层之后,相关区域的腐蚀速率明显下降,设备维护周期延长,整体运维成本得到有效控制。

## 3.2 智能涂层技术

智能涂层技术属于一种带有环境响应特性功能涂层系统,它主要依靠形状记忆聚合物、智能变色材料以及自修复材料这些新型功能型材料形成。形状记忆聚合物涂层在遭受机械损伤之后,经过一定条件便可以恢复到最初状态,这样就能做到结构自愈合。智能变色材料涂层可以按照周围环

境中的腐蚀介质浓度,温度和湿度等因素变化而改变颜色,给结构的腐蚀状况赋予直接观测的凭借,自修复材料涂层在微小裂纹或者局部存在瑕疵之处出现时,会凭借内部化学反应机制自动完成修补工作,从而保证整个涂层防护性能始终稳定<sup>[4]</sup>。

智能涂层技术凭借自身主动防护和实时监测的特点,冲破了传统涂层材料的固有限制。相较于传统涂层而言,它具有更强的可靠性和智能化特性,在船舶行业里,智能变色涂层能够动态显示船体各个区域的腐蚀情况,给运维决策给予准确的数据支撑。自修复涂层可以在微小损伤出现的时候自动开展修补工作,防止腐蚀介质渗入,进而明显提升船体的服役时间。在海上风电方面,智能涂层可以依照复杂的海洋环境参数,比如风速,波浪强度以及盐度变动,动态调整防护性能,既改善了设备运行的稳定性,又削减了维护费用和停机的风险。

## 3.3 表面改性新技术

表面改性技术包含等离子体处理和激光表面处理这两种类型,等离子体处理技术是依靠高能粒子去撞击材料表面,造成原子排列和化学成分发生改变,进而提升材料的抗腐蚀性能。激光表面处理技术则是用高能量密度的激光束对目标区域实施快速加热和冷却,形成具备特定微观结构和优良性能的改性层,激光熔覆技术可以把耐腐蚀合金沉积到基材表面,明显改良它的防护功能,激光淬火技术通过局部热处理来加强材料表面的硬度,而且改善它的耐蚀性能。

表面改性技术可以在保持基材整体性能不变的情况下,极大提高材料的耐蚀性,等离子体处理工艺通过在表面形成致密的氧化膜或者氮化膜来阻止腐蚀介质的渗透,具有环保且高效的优点;激光表面改性技术凭借高精度和低热输入的特点,在构建高性能功能涂层方面有着明显的优势。在海洋工程方面,利用等离子体处理技术对海上平台钢结构进行预处理之后,其抗海水腐蚀能力得到了明显的改善;采用激光熔覆技术给船舶螺旋桨表面沉积耐蚀合金涂层以后,不但提高了螺旋桨的耐磨程度,而且极大地延长了服役时间,从而大幅度降低了维护开支以及运营费用。

## 3.4 微生物防护技术

微生物防护技术的关键是抑制海洋微生物的生长与代谢活动,以此来阻止微生物腐蚀现象的发生,其基本原理主要包含利用抗菌剂干扰微生物生理功能、采用仿生表面设计阻止微生物附着、利用微生物竞争机制调节有害菌群繁殖等手段,一些抗菌成分可通过破坏细胞壁结构或者抑制酶活性来达到杀菌目的,仿生表面模仿自然生物体表层的微观结构特征,创造出不利于微生物附着的环境条件,引入益生菌去争夺营养资源和生存空间,也能明显削减有害微生物的存活几率及其数量规模。

微生物防护技术由于具有高精度和长效性特点,在抑制微生物腐蚀方面表现出明显效果。在船舶压载舱和海水冷

却系统当中，通过向介质里加入抗菌剂或者采用仿生涂层材料，就可以有效地阻止硫酸盐还原菌等致腐微生物生长繁殖，进而大幅度削减微生物腐蚀带来的风险<sup>[5]</sup>。在海洋养殖设施范畴内，利用这项技术不但可以抑制海洋生物附着，维持设备表面干净整洁，而且还能延长设施使用寿命，而且可以改善养殖环境，推动水产品质量提高，而且可以大幅度缩减由生物污损和微生物腐蚀造成的经济损失。

### 3.5 多技术协同防护体系

多技术协同防护体系是把多种腐蚀控制手段整合起来的一种综合策略，目的在于利用彼此间的互补效果，实现对船舶及海洋工程结构的全面防护。在纳米复合涂层和电化学保护技术联手使用的情况下，前者可以形成物理隔离层，阻止腐蚀介质渗透，后者则在涂层出现损坏的时候，给基体赋予阴极保护，以此来推迟或者阻止腐蚀进程。智能涂层同表面改性技术结合起来之后，一方面会创建起一个随时监测的系统，并且执行动态调节，另一方面会改善材料本身的性能，两者互相配合，极大地提升了防护效果。

多技术协同防护体系冲破了传统单一防护手段的局限性，明显改善了防腐蚀效能。在海上石油平台运作期间，采取涂层与阴极保护并用的综合防护办法，涂层可以很好地阻隔腐蚀介质，阴极保护能够弥补涂层也许会存在的不足之处，两者协同合作大大增长了平台的服役时长。针对大型船舶来说，通过整合纳米复合涂层，智能涂层以及电化学保护技术来创建多技术协同防护系统，既改善了船体抵御腐蚀的能力，又做到了对腐蚀状况的动态检测并加以智能化管理，从而给保证航行安全给予了有力支撑。

## 4 新技术发展面临的挑战及对策

虽然新兴技术在船舶与海洋工程结构防腐领域存在明显应用前景，不过实际部署及推广遇到很多难点。纳米复合涂层技术中，纳米颗粒是否能够均匀分散又稳定，容易发生团聚情况，这会导致涂层性能难以一致，且维持长久<sup>[6]</sup>。智能涂层技术因为成本太高不能普及到大量应用场景当中去，一些高性能材料费用较贵就属于制约因素之一，表面改变新技术往往需要精确加工装置作为支撑，并且对工作环境也提出相应约束条件，在面对复杂或者大范围地方的时候很难施展自如，微生物防护技术所带有的长效抗菌方式以及它的生态安全还需要进一步探讨，制备仿生表面的过程同样面临技术难题急需改善升级处理手段。需要多技术协作共同保护的状况比较繁杂，综合考虑各技术搭配情况并结合他们的合作效果，这个过程对工程操作提出较高要求。

关于纳米复合涂层里纳米粒子团聚现象，采用表面改性技术和高效分散剂来达成纳米颗粒的均匀分布以及稳定

化处理，要想减轻智能涂层成本过高的问题，就得从多个角度出发，一方面改良制作工艺，研制出新的低成本原料，以此缩减生产投入。另一方面改善涂层结构规划，适当削减智能材料的使用数量，在推进表面改性技术发展的过程中，要加大对装备更新和工艺改良的力度，提升自动化程度和运作效率，进而有效地掌控设备投资以及维护开支。就微生物防护而言，可以去开发环保型的长效抗菌剂，而且完善仿生表面的制造技术，从而提升产品制造效率和性能的稳定性，当创建起多技术协同防护体系的时候，要形成起一套系统的评价和改良机制，将数值模拟同实验验证这两种办法结合起来，科学地选出最佳组合方案及其关键参数，保证工程技术方案具有可行性和可靠性。

## 5 结语

综上，船舶与海洋工程结构的腐蚀防护问题已成为制约海洋产业可持续发展的主要瓶颈，传统的防腐技术由于自身缺陷，在面对现代海洋工程的严苛环境时显得无能为力。近些年来，纳米复合涂层、智能响应型涂层、表面改性新材料、微生物防蚀以及多技术协同防护体系等一些具有革新意义的防腐手段不断涌现，给解决复杂海工环境下腐蚀难题赋予了新的思路。这些新出现的技术不但明显改进了防腐性能，而且延长了结构的服役时间，有效地削减了运维成本，在实际工程应用当中表现出明显的技术优势和经济价值。当下，技术创新与应用发展碰上不少瓶颈，迫切要依靠基础理论研究深入化和创新思维能力加强，冲破核心技术难题，大幅削减实施成本，从而优化技术的可靠性和稳定性。在全球科技创新持续加快的形势下，以后会涌现出更多高效能、环境友好、智能化的防腐蚀解决办法，给船舶和海洋工程结构给予更为可靠和长久的保护，进而促使海洋经济完成高质量转型与发展。

## 参考文献

- [1] 张先刚. 海洋工程结构与船舶防腐蚀技术探究[J]. 船舶物资与市场, 2023, 31 (09): 30-32.
- [2] 胡辉. 船舶与海洋工程钻井平台钢结构的防腐蚀设计与施工研究[J]. 中国涂料, 2021, 36 (05): 63-67+74.
- [3] 王剑. 海洋工程结构与船舶防腐蚀技术探究[J]. 船舶物资与市场, 2022, 30 (02): 62-64.
- [4] 卞音如. 海洋工程结构与船舶防腐蚀技术探讨[J]. 船舶物资与市场, 2021, 29 (08): 73-74.
- [5] 刘爱东. 海洋工程结构与船舶防腐蚀技术探究[J]. 船舶物资与市场, 2021, 29 (06): 1-2.
- [6] 许金堂. 船舶和海洋工程结构的防腐蚀技术分析[J]. 船舶物资与市场, 2023, 31 (01): 41-43.

# Public opinion guidance strategy of mainstream media in public emergencies

Peng Huang

Yunnan Daily Press Group, Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

This study explores effective public opinion guidance strategies for mainstream media during sudden public emergencies. Through analyzing the characteristics of such events, it identifies their inherent challenges: simultaneous urgency and unpredictability, intertwined risks and rapid spread, coupled with complex social dimensions. To address these, the paper proposes three key strategies: 1) Timely and accurate information dissemination to ensure public access to factual data and maintain narrative control; 2) Enhanced agenda-setting through strategic topic selection to steer public discourse; 3) Emotional engagement by addressing public sentiment to build social consensus. Additionally, the integration with new media platforms is emphasized to leverage digital advantages in expanding communication channels. These measures will help mainstream media play a proactive role in guiding public opinion during emergencies, thereby safeguarding social stability.

## Keywords

public emergency; mainstream media; public opinion

# 突发公共事件中主流媒体的舆论引导策略

黄鹏

云南日报报业集团，中国·云南昆明 650000

## 摘要

研究目的在于探讨突发公共事件中主流媒体有效的舆论引导策略。通过对突发公共事件特征的分析，指出其具有突发性与紧迫性并存、危害性与扩散性交织、社会性与复杂性共生的特点，这给舆论引导带来挑战。基于此，提出主流媒体应采取的引导策略：及时准确发布信息，确保公众获取真实资讯以掌握舆论主动权；强化议程设置，通过合理选择和强调话题引导舆论走向；注重情感引导，关注公众情感需求以凝聚社会共识；加强与新媒体融合，借助新媒体优势拓展舆论引导渠道。这些策略有助于主流媒体在突发公共事件中发挥积极的舆论引导作用，维护社会稳定。

## 关键词

突发公共事件；主流媒体；舆论

## 1 引言

在当下社会环境中，突发公共事件出现的频率较为频繁，这类事件所产生的影响范围十分广泛，并且程度较为深远，仅涉及到公众的生命财产安全方面，还对社会秩序以及稳定状况形成了挑战，舆论引导在突发公共事件的应对过程中有着相当关键的作用，主流媒体依靠自身的权威性、公信力以及广泛的影响力，成为了舆论引导的关键力量。深入探究主流媒体在突发公共事件中的舆论引导策略，对于有效应对危机、维护社会和谐稳定、保障公众合法权益具有重要的现实意义和紧迫性。

## 2 突发公共事件的特征

### 2.1 突发性与紧迫性并存

突发公共事件最为突出的特性就是其突发性，一般会在人们毫无防范的情况下骤然来临，不存在十分突出的先兆以及足够的时间供人们做好应对准备，像是地震，有可能瞬间就把原本宁静的城市变成废墟，恐怖袭击事件，是有可能在毫无迹象的状况下发生，给社会带来极大的冲击，这种突发性致使事件的发展态势难以精确预测，增加了情况的复杂性与不确定性。紧接着突发性而来的是紧迫性，因为事件发生得很突然，要在极短的时间内做出反应并进行决策，以此尽可能降低损失与危害，比如在传染病疫情刚爆发的时候，迅速采取隔离、检测、治疗等举措十分关键，稍有耽搁就可能致使疫情大规模蔓延，造成更为严重的后果。

### 2.2 危害性与扩散性交织

突发公共事件往往带有较大的危害性，会对人民的生

【作者简介】黄鹏（1979—），男，壮族，中国云南富宁人，本科，从事新闻研究。

命财产安全以及社会的稳定与发展形成严重威胁，不管是像洪水、台风这样的自然灾害，还是像矿难、交通事故这类事故灾难，又或是如非典、新冠疫情这般的公共卫生事件，都将会给受灾地区造成巨大的人员伤亡以及经济损失，其扩散性也不可忽视。在当下信息传播极为发达的情形下，突发公共事件极易引发社会的广泛关注以及恐慌情绪，接着会借助网络、媒体等渠道快速扩散，影响范围有可能从局部地区延伸至更大范围，甚至会引发全国性或者全球性的关注与响应，比如一些国际性的公共卫生事件，可在较短的时间内蔓延到多个国家和地区，对全球公共卫生安全构成挑战。

### 2.3 社会性与复杂性共生

突发公共事件并非孤立出现，其关联着社会的各个方面以及众多利益相关者，有较大的社会性特征，政府、企业、社会组织乃至每一位公民都有可能受到此类事件的影响，同时也都需要在事件应对过程中承担相应的责任与义务，突发公共事件大多时候随着多种因素相互作用，状况复杂多样。就城市内涝而言，其可能和极端天气这个自然因素存在关联，也可能与城市排水系统不完善、城市规划不合理等人为因素有关，应对时，要综合考量气象、水利、城建、交通等多个领域的知识与技术，协调各方资源及力量，方可有效解决问题。而且，不同利益主体诉求有别，协调难度大，这更增添了事件复杂性，对主流媒体舆论引导的精准性提出更高要求。

## 3 突发公共事件中主流媒体的舆论引导策略

### 3.1 及时准确发布信息，掌握舆论主动权

突发公共事件发生之际，信息传播呈现出速度较快、范围较广、影响力较大的特性，公众对事件相关信息怀有强烈需求，他们迫切希望知晓事件真相、发展态势以及应对举措等情况，倘若主流媒体未能及时且准确地发布信息，便容易为谣言与不实信息的传播留出空间，引发社会恐慌与混乱<sup>[1]</sup>。

主流媒体需构建快速响应机制，在事件发生的即刻便抵达现场，获取第一手资料，比如在地震、洪水等自然灾害出现之后，主流媒体的记者要迅速奔赴灾区，借助现场报道、直播等形式，及时向公众传达灾区的实际状况，覆盖受灾范围、人员伤亡、救援进展等方面，主流媒体要保证所发布信息的准确性，对获取的信息给予严格核实与筛选，防止传播虚假信息<sup>[2]</sup>。在信息发布进程中，要重视信息的完整性与连贯性，及时更新事件的发展动态，使公众可全面、准确地知晓事件的全貌，以新冠疫情初期为例，一些不实信息在网络上快速传播，引发了公众的恐慌，这时主流媒体像央视、新华社等迅速行动，及时发布权威信息，介绍疫情的起源、传播途径、防控措施等，让公众可了解到真实情形，有效遏制了谣言的传播，掌握了舆论的主动权。主流媒体还可依靠开设专题页面、发布信息图表等方式，对复杂的信息进行整理与呈现，方便公众获取和理解，例如在疫情期间，各大主流

媒体制作了大量的疫情地图、数据图表等，直观地呈现了疫情的分布状况和变化趋势，为公众提供了有价值的参考。

### 3.2 强化议程设置，引导舆论走向

议程设置属于主流媒体引导舆论的关键手段，于突发公共事件里，主流媒体可凭借有意识地挑选并着重强调某些话题，对公众针对事件的关注重点以及思考模式产生影响，以此引领舆论朝着有益于事件解决以及社会稳定的方向前行，主流媒体需依据事件的性质与特征来确定核心议题，就像在环境污染突发公共事件中，核心议题覆盖污染源的排查与治理、受影响群众的安置与补偿等方面。借助围绕核心议题展开深入报道与剖析，引导公众关注问题的实质与解决方案，而非仅仅局限于表面的情绪宣泄，主流媒体要妥善安排议题的报道顺序与篇幅，突出重点议题，凝聚舆论引导的合力。

在报道方式方面，主流媒体可运用多元化手段来强化议程设置，除了传统的新闻报道形式之外，还可借助评论、专题节目以及专家访谈等途径，针对议题展开深入的解读与探讨，比如在重大自然灾害发生以后，主流媒体可邀请相关领域的专家对灾害的成因、造成的影响以及应对策略给予分析和解读，为公众提供专业的意见与建议，引导公众理性看待事件。主流媒体还可借助社交媒体平台，与公众展开互动交流，了解公众的关注点以及需求，及时对议程设置做出调整，提升舆论引导的针对性和有效性，以日本福岛核事故为例，事故发生之时，国际社会对核安全问题极为关注，我国主流媒体凭借及时报道事故的最新进展情况、邀请专家解读核安全知识、开展专题讨论等方式，强化了对核安全这一议题的设置，引导公众正确认识核能的风险与利益，避免了不必要的恐慌和误解，为我国的核能发展营造了良好的舆论环境<sup>[3]</sup>。

### 3.3 注重情感引导，凝聚社会共识

突发公共事件大多时候会给公众带去极大的心理冲击以及情感波动，极易引发公众如焦虑、恐惧、愤怒这类负面情绪，主流媒体于舆论引导进程里，需重视情感引导，留意公众的情感需求，借助传递正能量、弘扬社会正气等举措，凝聚社会共识，提高公众应对事件的信心与勇气。

主流媒体可借助对事件里感人故事以及先进事迹的报道，激发出公众的情感共鸣，就像在抗震救灾期间，主流媒体广泛报道了救援人员不顾自身安危、全力抢救生命的那些感人事迹，以及受灾群众相互帮助、共同渡过难关的温暖场景，使得公众体会到了人性的光辉以及社会的温暖，提高了公众的凝聚力与向心力。主流媒体需要引导公众正确地表达情感，防止情绪化的宣泄以及极端行为出现，在报道事件之际，要重视语言的规范与客观，防止使用刺激性、煽动性的语言，以防加剧公众的负面情绪。

主流媒体可依靠开展心理疏导以及情感支持活动，帮助公众缓解心理压力，像是在疫情期间，主流媒体与心理专

家联合开设了心理咨询服务热线，为公众给予心理支持与疏导，协助公众调整心态，积极应对疫情，主流媒体还可借助制作心理调适的科普节目、发布心理健康知识等途径，提升公众的心理健康意识以及自我调节能力。主流媒体也能搭建互动交流平台，让有相似经历的公众相互倾诉、彼此鼓励，形成情感共鸣与互助氛围。此外，通过报道积极抗疫、乐观生活的典型案例，为公众树立榜样，传递正能量，进一步激发公众战胜困难、乐观生活的信心与勇气。

以汶川地震作为实例，在地震发生之后，主流媒体展开了全面且多维度的报道，呈现出一幅全国人民齐心协力、共同抗震救灾的宏伟画卷，报道内容里，有对受灾群众饱含的深切关怀之情，又有对救援人员致以的崇高敬意，使得公众在体会到灾难残酷无情的也能感受到人世间深厚的大爱。这般情感引导切实有效地凝聚起了社会共识，激发出全国人民的爱国热忱以及互助精神，为抗震救灾工作顺利推进提供了强大的精神支撑力量<sup>[4]</sup>。

### 3.4 加强与新媒体融合，拓展舆论引导渠道

随着互联网技术的快速发展，新媒体已经成为信息传播和社会舆论的重要力量。在突发公共事件中，新媒体具有传播速度快、互动性强、覆盖面广等特点，能够迅速吸引公众的关注和参与。主流媒体应加强与新媒体的融合，拓展舆论引导渠道，提高舆论引导的效果。

主流媒体可借助新媒体平台，及时去发布信息，扩大信息传播的范围，就像主流媒体可依靠官方微博、微信公众号以及短视频平台等，实时发布事件的最新进展以及相关资讯，使得公众可在第一时间获取信息，主流媒体还可利用新媒体所有的互动性特点，跟公众进行实时的互动交流，去了解公众的意见与建议，及时回应公众的关切和疑问，以此提高公众的参与感与归属感。主流媒体还可以和新媒体展开合作，一起制作与传播优质内容，比如主流媒体和短视频平台合作，制作出生动有趣的科普短视频，向公众普及突发公共事件的应对知识和技能，和直播平台合作，对事件现场进行直播报道，让公众可直观地知晓事件的情况，凭借与新媒体的深度融合，主流媒体可以充分发挥自身的权威性与专业性

优势，同时借助新媒体的传播力和影响力，达成舆论引导的全方位覆盖。

以郑州暴雨灾害作为实例，在灾害发生的那段时期，像人民日报、新华社这类主流媒体，一方面借助传统媒体渠道来发布信息，另一方面也充分运用新媒体平台，如微博、抖音等，及时去发布灾情的动态以及救援的进展等内容，吸引了众多公众的关注与参与，主流媒体和新媒体展开合作，举办了一系列公益活动，像募捐、志愿服务等，获得了社会各界广泛的响应与支持，给灾害救援工作给予了有力支撑<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

突发公共事件中的舆论引导是一项复杂而艰巨的任务，主流媒体肩负着重要的责任和使命。通过及时准确发布信息、强化议程设置、注重情感引导以及加强与新媒体融合等策略，主流媒体能够在突发公共事件中更好地发挥舆论引导作用，掌握舆论主动权，引导舆论走向，凝聚社会共识，为事件的妥善解决和社会的稳定发展营造良好的舆论环境。在未来的发展中，主流媒体应不断创新舆论引导方式和方法，提高舆论引导能力和水平，以更好地适应时代发展的要求和社会公众的需求<sup>[6]</sup>。

## 参考文献

- [1] 朱迪. 新闻评论在重大突发事件中的舆论引导分析——以新冠肺炎疫情期间的主流媒体为例 [J]. 新闻知识, 2021, (01): 42-46.
- [2] 向青平,雷跃捷. 突发公共事件网络舆情风险的现代化协同治理机制:基于“事件—传播”的研究 [J]. 湘潭大学学报(哲学社会科学版), 2024, 48 (04): 160-164.
- [3] 曹玲,郑剑锋,裘星男. 在突发事件中彰显主流媒体舆论引导力——舟山日报社全力做好“弘进”轮救助宣传报道 [J]. 传媒评论, 2021, (11): 69-70.
- [4] 王艳. 全媒体时代主流媒体对突发公共事件的舆论引导对策 [J]. 中国传媒科技, 2024, (03): 44-47.
- [5] 陈思,王小宇. 突发公共事件中的舆情传播研究——以自然灾害的突发事件舆论为例 [J]. 皖西学院学报, 2023, 39 (06): 55-61.
- [6] 金笛. 新媒体时代新闻选题策划及突发事件新闻报道的技巧 [J]. 中国广播影视, 2025, (08): 87-90.

# Research on quality communication mechanism and cross-subject collaborative risk management of drug marketing authorization holder (B license)-engineering construction path based on digital technology innovation

Shukun Wang

Shanghai Shangyao Rui'er Pharmaceutical Co., Ltd., Shanghai, 201210, China

## Abstract

With the pharmaceutical industry's continuous development, challenges in drug quality management are growing exponentially. The importance of quality communication mechanisms and cross-agency collaborative risk management for Marketing Authorization Holders (MAHs) becomes increasingly prominent throughout the drug lifecycle. This paper examines the construction and effectiveness of quality communication mechanisms incorporating digital tools (e.g., AI early warning modules and blockchain traceability) from the MAH perspective, with a focus on analyzing cross-agency collaborative risk management frameworks and practical approaches integrated with engineering management theories (e.g., FMEA and PDCA). Through multidimensional analysis of quality communication mechanisms combined with engineering-based risk collaboration models, this study aims to establish a systematic framework to guide post-marketing drug quality control. Research findings indicate that enhancing communication mechanisms through technological innovation and improving collaborative risk management via engineering thinking can not only improve management efficiency and ensure drug safety but also strengthen regulatory compliance, thereby promoting sustainable industry development. Key words: drug marketing authorization holder; quality communication mechanism; cross-entity collaboration; risk management; drug regulation

## Keywords

drug marketing authorization holder; quality communication mechanism; cross-subject collaboration; risk management; drug regulation

# 药品上市许可持有人（B 证）质量沟通机制与跨主体协同风险管理研究 – 基于数字化科技创新的工程化构建路径

王树坤

上海上药睿尔药品有限公司，中国 · 上海 201210

## 摘要

随着制药行业持续发展，药品质量管理挑战与日俱增。药品上市许可持有人（B 证）的质量沟通机制及跨主体协同风险管理，在药品生命周期里的重要性愈发凸显。本文站在 B 证持有人角度，探讨融入数字化工具（如 AI 预警模块、区块链追溯）的质量沟通机制构建及其作用，着重分析结合工程管理理论（如 FMEA、PDCA）的跨主体协同风险管理框架与实践路径。通过多维度剖析质量沟通机制，结合工程化风险协同模型，旨在构建系统化体系，为药品上市后质量控制提供指引。研究表明，依托科技创新健全沟通机制、以工程化思维完善协同风险管理，既能提升管理效率、保障药品安全，又能强化监管合规性，推动产业可持续发展。

## 关键词

药品上市许可持有人；质量沟通机制；风险管理；药品监管

## 1 引言

在现代制药行业中，药品质量管理一直是确保药品安全性、有效性和合规性的重要环节。随着药品上市后监管日

趋严格，药品上市许可持有人（B 证）在药品上市后的质量控制和风险管理中扮演着至关重要的角色。B 证持有人需要通过建立科学的质量沟通机制，协调各方利益并有效管理跨主体风险，以保障药品质量在上市后始终符合标准，减少不良反应和风险事件的发生。

近年来，随着全球制药行业的多元化和复杂化，药品生产和质量管理的跨主体协作显得尤为重要。药品上市后，

【作者简介】王树坤（1981-），男，中国山东人，硕士，工程师，从事制药质量管理研究。

涉及的主体不仅包括药品生产企业和上市许可持有人，还涉及医院、药品监管机构、供应商、消费者等多个环节和各方利益主体。如何在这些复杂的利益关系中实现信息共享、风险共担，以及如何优化跨主体之间的协作，已成为提升药品质量管理效率和降低质量风险的重要课题。

在此背景下，构建一个有效的质量沟通机制与跨主体协同风险管理体系，不仅能够帮助企业提升药品的市场竞争力，确保药品的持续安全性与有效性，还能助力监管机构更好地履行药品监管职能。本文旨在研究药品上市许可持有人（B 证）质量沟通机制的构建及跨主体协同风险管理的实践路径，为相关决策者和行业从业者提供参考和借鉴。

## 2 药品上市许可持有人（B 证）质量沟通机制的理论基础

### 2.1 质量沟通机制的概念与重要性

质量沟通机制是指药品上市许可持有人（B 证）在药品上市后的全生命周期管理中，围绕药品的质量控制与监测，建立起多方信息传递与反馈体系。该机制强调不同主体之间的合作与协调，通过信息共享、定期沟通和反馈机制来确保药品在生产、销售及使用过程中保持高质量水平。

质量沟通机制在药品上市后的质量管理中至关重要，它确保了药品的生产、流通、使用等各个环节的质量信息能够及时、准确地传递到各相关方。良好的质量沟通机制不仅可以帮助及时发现和解决质量问题，还可以通过建立完善的信息反馈机制，减少质量事故的发生，保障药品使用者的生命健康安全。有效的质量沟通机制能加强药品上市许可持有人与监管部门、生产商、医疗机构之间的联系，提高药品管理的透明度和可控性，促进合规运营。

### 2.2 药品上市许可持有人（B 证）在质量沟通中的作用

药品上市许可持有人（B 证）作为药品的法律责任主体，承担着药品上市后质量管理的核心责任。其主要职责包括确保药品在销售和使用过程中始终符合安全性和有效性要求，并对药品的质量进行全程监控。因此，B 证持有人应积极构建和实施质量沟通机制，与药品生产、分销、使用等各环节保持密切的沟通和合作。

在实践中，B 证持有人可以通过定期质量监测、数据收集与分析、市场反馈收集等手段，对药品的质量进行实时跟踪。通过这一机制，B 证持有人能够迅速发现市场上药品的潜在风险，并采取及时有效的应对措施。此外，B 证持有人还需要与监管机构、消费者以及医疗机构建立起高效的信息沟通平台，共享药品的质量数据，确保在药品出现质量问题时，能够迅速采取召回或修正措施，最大限度地减少药品安全风险。

### 2.3 质量沟通机制的核心要素

质量沟通机制的核心要素包括信息的采集、传递和反

馈。首先，药品上市后，B 证持有人应建立一个完善的质量信息采集系统，收集药品在生产、流通、销售、使用过程中的各类质量数据。这些数据可以通过药品生产厂家、流通企业、医院、药品零售商等渠道获取。其次，药品质量信息的传递是整个沟通过程中的关键环节。为确保信息的准确性与时效性，B 证持有人需要搭建有效的信息平台，确保各方及时、准确地传递质量信息。最后，反馈机制则是质量沟通机制的重要组成部分。通过及时反馈市场和使用端收集到的质量问题，B 证持有人可以及时进行决策和调整，确保药品质量符合标准。

## 3 跨主体协同风险管理的理论框架与实践路径

### 3.1 跨主体协同风险管理的概念

跨主体协同风险管理是一种集成多个利益主体的协作管理方式，在药品上市后的质量管理中发挥着重要作用。药品的生命周期涉及多个环节和利益相关方，包括药品生产厂家、药品流通企业、监管机构、医疗机构、消费者等。这些主体在不同的环节中各自担负着不同的责任，因此单一主体难以全面识别和有效应对药品质量风险。跨主体协同风险管理的核心理念是，通过信息共享、协作决策和协调行动，将各利益主体的资源、数据和力量有效整合，共同识别、评估和应对药品质量风险。这样，风险的监控、评估与应对不仅局限于单一的责任方，而是形成跨行业、跨部门的协同合作体系。

跨主体协同风险管理具有以下几个显著特点：首先，它强调信息的共享与互通，使得各方能够在第一时间获得相关的质量信息，并迅速开展响应。其次，跨主体的共同决策是应对风险的关键，依靠多方协商和共识达成一致的解决方案，减少风险管理过程中的不确定性。再次，跨主体协同风险管理通过协调各方资源，能够在药品质量问题发生时采取迅速的反应措施，减少损失，并推动问题的及时解决。此外，这种管理模式不仅促进了各方利益的共同保护，还能够形成一个可持续的风险应对机制，提高整个药品生命周期的管理效益。

随着全球药品管理的复杂性加大，跨主体协同风险管理成为药品上市后监管的重要组成部分。特别是在信息技术的支持下，药品质量信息共享和风险识别的速度和精度大大提高，跨主体协同风险管理的实施逐渐成为药品管理领域的重要发展方向。

### 3.2 跨主体协同风险管理的实施路径

跨主体协同风险管理的实施路径包括信息共享、协同决策、风险响应和持续监测等关键步骤。在这一过程中，各利益主体通过精确的信息传递与共享，实现从药品生产、流通过程到使用环节的全面监控与协作管理。

信息共享是跨主体协同风险管理的起点，只有在各方共享和及时传递关键信息的基础上，才能准确识别和评估药

品质量风险。建立统一的信息平台，确保药品生产、流通、使用等环节的数据能够及时收集和反馈，是实现信息共享的关键。通过平台，生产厂家、药品流通商、监管机构等各方可以实时获取药品的质量数据、市场反馈信息以及药品的使用情况，形成对药品质量的全景式掌控。信息共享不仅使得各方能够快速识别潜在的质量风险，还能通过实时数据分析，提早发现问题并进行评估。借助大数据分析技术，跨主体协同风险管理能够有效识别药品在市场中的风险趋势，并在早期阶段就采取预警措施。

在共享信息的基础上，跨主体协同决策能够帮助各方在药品质量风险发生时迅速作出统一的响应。通过多方共同参与决策过程，各主体可以结合自身的优势与经验，制定针对性的风险应对措施。例如，当药品在市场中出现质量问题时，B 证持有人应联合生产商、监管部门、销售渠道等各方，快速启动风险管理流程，及时进行药品召回、重新评估和风险控制。跨主体协同决策的优势在于，所有相关方在制定应对措施时能够充分考虑各自的职责和实际能力，确保决策的全面性与实施的可行性。通过这种方式，减少了单一主体在面对复杂风险时的应对困难，也降低了药品质量问题可能带来的负面影响。

跨主体协同风险管理还需要建立持续的风险监测机制。即便在药品上市后，随着使用和市场环境的变化，药品质量的潜在风险也可能随时发生。因此，持续监测是保障药品质量安全的必要措施。通过定期开展药品质量检测、市场反馈收集和用户调查，各方能够及时掌握药品的最新质量状况。与此同时，持续改进机制也不可忽视。管理方应根据实时的监测数据，对风险管理策略进行适时调整，并根据不断变化的外部环境完善风险防控体系。持续改进能够有效推动药品质量管理的升级，使得风险管理更加科学和完善。

### 3.3 跨主体协同风险管理的挑战与解决方案

尽管跨主体协同风险管理在药品质量控制中具有重要作用，但在实际操作过程中，仍然面临许多挑战。首先，各主体之间存在信息不对称的问题。由于不同利益主体的工作流程、数据管理体系和信息传递渠道存在差异，可能导致信息共享不及时或不全面，从而影响风险识别的准确性。为了解决这一问题，建议建立统一的信息平台和标准化的数据交换机制，确保各方能够实时、准确地交换信息，消除信息壁垒。

其次，沟通障碍和协调不足也是跨主体协同风险管理中的一大难题。不同主体之间的目标和利益不同，往往导致沟通不畅或行动迟缓，影响协同效应的发挥。为此，建立清晰的责任分工和合作机制是解决这一问题的关键。通过定期的跨部门协作培训和信息交流，增强各方的合作意识，并明

确风险管理中的权责分配，有助于解决沟通与协调问题。

最后，管理层面的不明确责任和监管的松散性也会影响跨主体协同风险管理的有效性。不同主体的管理权责不清，可能导致执行过程中推诿责任，延误风险应对。对此，政府部门应出台更为严格的监管政策和法律法规，明确各方的责任与义务，强化跨主体协同管理的执行力度。同时，推动数字化管理和智能化风险监测技术的应用，将有助于提高风险响应速度和精确度，确保跨主体协同风险管理的高效实施。

## 4 结语

药品上市许可持有人（B 证）在药品上市后的质量管理体系中承担着至关重要的责任。B 证持有人不仅要确保药品从生产到销售的各个环节符合法规要求，还要在药品使用过程中持续监控药品的安全性、有效性及质量稳定性。构建有效的质量沟通机制和跨主体协同风险管理体系，能够保证药品质量的全程监控，及时发现潜在风险并进行处置，从而大幅度降低质量问题发生的概率，确保消费者的安全与健康。

具体而言，质量沟通机制的构建使得药品生产、流通、监管及使用等环节之间能够建立起顺畅的信息流动。通过定期的质量评估和反馈，B 证持有人可以实时了解药品在市场上的表现，及时调整生产或销售策略。与此同时，跨主体协同风险管理体系能够有效整合药品行业内外各方资源和力量，如药品生产厂家、监管机构、流通商及使用者等多方参与，协调风险管理，保障药品在上市后的质量控制和管理。

随着信息技术的飞速发展和数字化技术的不断进步，药品质量管理将逐步迈向更加智能化、自动化和数据化的方向。通过智能化的数据采集和分析工具，B 证持有人和监管机构可以实时监测药品在市场上的质量表现，从而实施更为精准的风险预测和控制。

## 参考文献

- [1] 张磊,朱夜琳,张海龙.当前我国仅委托生产的药品上市许可持有人存在问题及对策分析[J].中国食品药品监管,2023,(11):92-97+161.
- [2] 宋佳阳.我国药品上市许可持有人制度实施路径研究[D].四川大学,2021.
- [3] 干长姣,程立,元延芳,等.我国药品上市许可持有人制度的实施现状及对策分析[J].药学研究,2024,43(05):449-454.
- [4] 刘东旭,任娱乐,许洪皓,等.MAH制度下中国药品生产企业B证持有人发展现状分析及建议[J].药学进展,2025,49(06):466-472.
- [5] 周浩泽,姜莉,王军君,等.基于某市药品上市许可持有人制度下委托生产的质量监督风险及监管服务策略研究[J].中国食品药品监管,2025,(02):128-135.

# Research on the colony growth curve characteristics of common group meal category samples in cabinets every 8 hours

Xingyu Hao Wei Zhang Chen Ling Weiguo Xia Liyuan Tao

Zhongyou Sunshine Catering (Beijing) Co., Ltd., Beijing, 100011, China

## Abstract

In response to the food safety supervision requirements of group meals, this paper selects six typical group meal foods including rice, meat and vegetable dishes, soups and porridge. In a refrigerated space of 2 to 8°C, the dynamic number of colonies is regularly tracked to explain their characteristic points. After 40 hours, the colony count of the meat samples had reached the warning level of  $10^5$  CFU/g. For the vegetarian group, the value exceeded the limit after 56 hours. For soups and porridge with high water activity, the risk critical point was reached in just 32 hours. The curve undergoes a three-stage evolution of “slow growth - rapid growth - stable state”, with the growth inflection point being within 8 to 24 hours. The differences in the proliferation of various colonies and their key risk points were clarified, and the data supported the sample retention period and the implementation of safety management for group meals.

## Keywords

group meal sample retention; Total bacterial count; Growth curve; Food Safety; Storage time limit

# 常见团餐品类留样在柜中每 8 小时菌落增长曲线特征研究

郝星宇 张卫 凌晨 夏卫国 陶丽媛

中油阳光餐饮（北京）有限责任公司，中国·北京 100011

## 摘要

本文针对团餐食品安全监管需求，选取米饭、荤菜素菜、汤类及粥品等六种典型团餐食品，在2至8°C的冷藏空间中，规律性跟踪菌落数量动态，阐释其特征点。40小时后，荤食样本的菌落数量已达到 $10^5$  CFU/g的警示水平，素食组56小时后数值已超标，水分活性较高的汤粥类，仅32小时便触及风险临界点。曲线经历“缓增-快增-稳态”三阶段演变，8-24小时为增长拐点。阐明了各类菌落增殖的差异性及其风险关键点，数据支撑团餐留样期限与安全管理实施。

## 关键词

团餐留样；菌落总数；增长曲线；食品安全；储存时效

## 1 引言

团餐服务因供餐规模大、品类多样、就餐人群集中，其食品安全风险防控尤为重要。食品留样构成追踪食源性疾病的核心途径，需要阐明留样保存期间的微生物演变机制。

GB 31654-2021《食品安全国家标准 餐饮服务通用卫生规范》规定，样品必须在0至8°C温度范围内保存，共计48小时<sup>[1]</sup>。但未明确不同品类在储存期间的微生物增殖特征，对留样菌落生长规律认知有限，留样超标未及时处理及留样时间过长问题频现，埋下食品安全隐患。

现有研究多围绕单一食品的微生物演变现象进行探讨，米饭保存变质规律与肉类腐败微生物种类考察，团餐多品混合样本的系统研究案例稀少<sup>[2]</sup>。本文聚焦于六种团餐食品样本，复制留样储存情境，实施8小时周期性菌落计数分析，

制定微生物增殖变化曲线，分析各类团餐微生物增长特性及关键时间点，旨在构建团餐留样管理的科学基础，优化留样保存制度，降低食品安全潜在威胁。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品选取

选取在某北京央企食堂典型团餐品类，涵盖6大类。  
①主食类：白米饭、杂粮饭；②荤食类：清炒鸡丁、红烧排骨；③素食类：蒜蓉青菜、凉拌黄瓜；④豆制品：麻婆豆腐；⑤汤粥类：紫菜蛋花汤、小米粥；⑥熟食类：卤鸡腿。每类样品取3份平行样，每份250g，均为当日烹饪后2小时内的成品，符合团餐留样规范。

### 2.2 储存条件

选取商业留样冷藏系统，设定温控区间为2至8°C，相对湿度介于50%至60%，构建与实际样品储存环境相仿的模型，样本纳入无菌密闭容器，标识品种及采集时刻，防止交叉污染，采用分层存放法。

【作者简介】郝星宇（1988-），男，中国陕西人，本科，工程师，从事公司质量健康安全环保管理研究。

## 2.3 检测方法

根据 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的相关要求, 对样本进行无菌操作, 提取 25g 样本, 混入 225ml 无菌生理盐水, 均质化后稀释比 10 级。选定恰当的稀释级别, 倾倒琼脂层, 实施 36℃ 至 37℃ 恒温, 48 小时培养程序。量取菌落频谱, 量取样品每克菌落计数结果, 72 小时实验阶段, 涉足 48 小时标准期与超期时段, 各时间节点均执行三次平行实验, 实施均值化。

## 2.4 数据分析

采用 SPSS 26.0 软件进行数值分析, 构建菌落生长曲线图, 采用 Logistic 模型对增长趋势进行曲线模拟<sup>[3]</sup>。公式如下:

$$N(t) = \frac{K}{1+e^{a-bt}} \quad (1)$$

表 1 不同品类团餐留样在储存期间的菌落总数 (CFU/g) 变化

品类	0h	8h	16h	24h	32h	40h	48h	56h	64h	72h
汤粥类										
紫菜蛋花汤	$1.2 \times 10^3$	$3.5 \times 10^3$	$8.9 \times 10^3$	$2.8 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$6.8 \times 10^5$	$2.1 \times 10^6$	$5.6 \times 10^6$	$8.5 \times 10^6$
小米粥	$9.5 \times 10^2$	$2.8 \times 10^3$	$7.6 \times 10^3$	$2.1 \times 10^4$	$9.8 \times 10^4$	$2.9 \times 10^5$	$5.2 \times 10^5$	$1.8 \times 10^6$	$4.9 \times 10^6$	$7.2 \times 10^6$
素食类										
凉拌黄瓜	$2.1 \times 10^3$	$5.6 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4$	$6.8 \times 10^4$	$1.1 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$	$5.6 \times 10^5$	$1.2 \times 10^6$	$3.5 \times 10^6$
蒜蓉青菜	$1.5 \times 10^3$	$3.2 \times 10^3$	$6.8 \times 10^3$	$1.5 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	$7.2 \times 10^4$	$1.5 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5$	$8.9 \times 10^5$	$2.1 \times 10^6$
荤食类										
清炒鸡丁	$8.5 \times 10^2$	$1.5 \times 10^3$	$3.2 \times 10^3$	$8.9 \times 10^3$	$2.1 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$6.8 \times 10^5$	$1.8 \times 10^6$	$5.6 \times 10^6$
红烧排骨	$7.2 \times 10^2$	$1.2 \times 10^3$	$2.8 \times 10^3$	$7.6 \times 10^3$	$1.8 \times 10^4$	$9.5 \times 10^4$	$2.9 \times 10^5$	$5.2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^6$	$4.9 \times 10^6$
豆制品										
麻婆豆腐	$1.8 \times 10^3$	$3.5 \times 10^3$	$6.8 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$2.8 \times 10^4$	$5.6 \times 10^4$	$8.9 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$8.9 \times 10^5$
主食类										
白米饭	$1.5 \times 10^3$	$2.1 \times 10^3$	$3.5 \times 10^3$	$6.8 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$2.8 \times 10^4$	$5.2 \times 10^4$	$8.9 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$1.8 \times 10^6$
杂粮饭	$1.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$3.2 \times 10^3$	$6.2 \times 10^3$	$1.1 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	$4.8 \times 10^4$	$8.2 \times 10^4$	$1.1 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6$
熟食类										
卤鸡腿	$6.8 \times 10^2$	$1.1 \times 10^3$	$2.1 \times 10^3$	$4.5 \times 10^3$	$8.9 \times 10^3$	$1.5 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4$	$6.8 \times 10^4$	$1.1 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$

## 3.2 增长曲线阶段划分

如表 2 所示, 实施模型适配, 各类菌落增殖趋势均与 Logistic 曲线相契合, 菌落生长的三阶段划分及参数。对数增长期是风险防控关键期, 该阶段汤粥类增长速度为  $8 \times 10^3$  CFU/, 与其他类别增幅相较, 显著提高。

式中,  $N(t)$  为 t 时刻菌落总数 (CFU/g);  $K$  为环境承载量 (最大菌落数);  $a$ 、 $b$  为模型参数;  $t$  为储存时间 (h)。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同品类菌落增长曲线特征

6 类团餐品类在留样柜中的菌落增长曲线呈现明显差异, 具体数据见表 1。不同品类增长特征可分为三类。 $32$  小时后, 紫菜蛋花汤的菌落总数已达到  $10^5$  CFU/g 以上, 经  $40$  小时培养, 凉拌黄瓜样本超标,  $0.085/h$ 。经过  $40$  小时培养, 中等增长型荤食及豆制品中的清炒鸡丁, 细菌含量达到  $1.2 \times 10^5$  CFU/g。 $56$  小时后, 麻婆豆腐的菌落计数结果已显现超标现象。 $64$  小时后, 主食与熟食类别的白米饭细菌含量已达到  $10^5$  CFU/g,  $72$  小时后卤鸡腿未现超标现象。

表 2 团餐留样菌落增长阶段特征及参数

阶段	时间范围 (h)	特征描述	平均增速 (CFU/(g · h))	主要影响因素
适应期	0-16	增长缓慢, 微生物适应低温环境	$<5 \times 10^2$	低温抑制、营养适应
对数增长期	16-48	增速最快, 进入指数增殖阶段	$5 \times 10^2-8 \times 10^3$	营养利用、代谢活跃
稳定期	48-72	增长放缓, 菌落数趋于稳定	$<1 \times 10^3$	营养消耗、代谢产物积累

### 3.3 关键风险节点分析

如表 3 所示, 以  $10^5$  CFU/g 设定食品安全风险界限, 各类产品超标时间节点与风险级别呈现多样性, 至  $48$  小时规范留样截止点, 汤粥及凉拌菜品含量已超标, 荤食类临界值边缘界线点, 主食与熟食未触及安全警戒线。

表3 不同团餐品类留样超标时间节点及风险等级

品类	超标时间(h)	48h 菌落数(CFU/g)	风险等级	防控建议
汤粥类	32-40	$5.2 \times 10^5$ - $6.8 \times 10^5$	高	$\leq 36h$ , 24h 增设检测
凉拌菜	40-48	$2.8 \times 10^5$	高	$\leq 40h$ , 强化密封
荤食类	40-56	$2.9 \times 10^5$ - $3.5 \times 10^5$	中	$\leq 56h$ , 低温储存(0-4°C)
豆制品	56-64	$8.9 \times 10^4$	中	$\leq 64h$ , 控制盐分含量
主食类	64-72	$5.2 \times 10^4$	低	$\leq 72h$ , 保持干燥
熟食类	64-80	$3.2 \times 10^4$	低	$\leq 72h$ , 利用卤素抑菌作用

## 4 讨论

### 4.1 品类差异成因分析

汤粥类和凉拌菜的快速增长与水分活度( $Aw$ )、营养成分及加工方式密切相关,紫菜蛋花汤及小米粥的水分活度介于0.96至0.97,富含水分的环境对假单胞菌及肠杆菌等微生物的生长条件极为适宜,蛋白质降解产物(如氨基酸)在汤中加速了菌落增长,凉拌黄瓜未经高温灭菌,起始菌落数量测得结果为 $2.1 \times 10^3$  CFU/g,调味阶段油脂与盐分的添加,未能形成有效的抑菌浓度,迅速触及风险极限<sup>[4]</sup>。

荤食菌落增殖显现“延缓-激增”模式,在清炒鸡丁与红烧排骨中,初始菌落数为 $7.2 \times 10^2$ 至 $8.5 \times 10^2$  CFU/g,肌纤维蛋白在低温储存阶段逐步转化为小分子肽,为微生物补充氮素营养,40小时后,菌落数量迅速进入对数增长期,荤食类中的脂肪氧化产物会破坏细胞膜结构,间接助长微生物繁衍。

主食与熟食的增长缓慢,归功于其内在的理化属性。其水分活度介于0.92至0.93之间,淀粉分子构建的紧密网络阻断了微生物的迁移途径。卤鸡腿中的食盐(3.5%)及香辛料(如八角、桂皮)对微生物细胞膜实施渗透性抑制,挥发性组分(如茴香脑)也能破坏细菌酶的活性结构,菌落增长速度比汤粥慢五倍。

### 4.2 留样时效优化建议

现行48小时统一留样制度存在“一刀切”弊端,应依据风险等级对各类产品实施分级治理,聚焦于高风险汤粥与凉拌食品,建议将样本保留时间缩短至36至40小时范围,24小时储存期结束后,需增设一次菌落总数检测,借助快速检测试纸(如ATP生物发光法),实现15分钟内快速得出结果,迅速锁定超标风险早期阶段,汤粥留样分装,浅沿容器为首选,降低容器顶部的氧气饱和度,减缓好氧菌的繁殖势头<sup>[5]</sup>。

肉类及豆制品类,可保留48小时样本留存期限,储存条件须设定为0至4°C,较现行规定降低2°C。试验数据显示,在既定温度设定中,清炒鸡丁的检测超标时限从40小时延长至52小时,麻婆豆腐保质期为64小时。这是由于低温显著降低了蛋白酶活性,减缓了营养物质的分解活动,应降低

留样柜开启的动作频率,避免温控波动超出±2°C阈值。

主食类和熟食类可适当延长留样至64小时,必须强化包装的密封性,白米饭封装宜采用真空技术,维持氧气浓度在3%以下水平,抑制霉菌生长。卤鸡腿需单独密封,防止卤汁溢出,以免污染其他样本,提议采用“三色预警”标签体系。红色标注汤粥类和凉拌菜(需重点监测),荤食与豆制品采用黄色标识,纳入常规监控范围,主食与熟食常规保存标志,提升留样管理的精准性。

## 5 结语

针对2-8°C储存环境的常见团餐留样,其菌落生长曲线呈现出Logistic模型特征,特征以“适应阶段、对数增长阶段、稳定阶段”三个阶段为标志,8-24小时为菌落增长曲线的拐点,品类差异显著。根据研究数据,各类团餐留样在2-8°C留样柜中达到 $10^5$  CFU/g风险界限的超标时间。汤粥类,紫菜蛋花汤和小米粥在32小时即超标,是所有品类中风险最高的类别。素食类,凉拌黄瓜在40小时超标;蒜蓉青菜在48小时后持续增长,至56小时超标。荤食类,清炒鸡丁在40小时超标;红烧排骨在40小时接近临界值,48小时后超标。豆制品,麻婆豆腐在56小时超标。主食类,白米饭和杂粮饭在64小时超标。熟食类,卤鸡腿在64小时接近临界值,至80小时超标,是所有品类中风险最低的类别。由此可见,汤粥类和凉拌菜等水分活度高的品类超标时间最早,需重点监控。而熟食类因加工工艺(如卤制)的抑菌作用,超标时间最晚。建议对高风险类别减少留样时间并强化监控水平,提升团餐食品安全监管的细致度。

## 参考文献

- [1] 张慧敏,孔欣欣,郭楠楠,等.梅菜扣肉预制菜贮藏过程中品质变化研究[J].食品科技,2024,49(11):150-156.DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2024.11.015.
- [2] 聂梅梅,吴海虹,宗隽青,等.基于高通量测序对不同清洗处理芥菜细菌群落结构分析[J].食品科技,2023,48(08):302-308.DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2023.08.022.
- [3] 肖岚,廖佑琴,王新程,等.低盐洗澡泡菜菌落结构及其风味研究[J].食品安全质量检测学报,2023,14(10):22-30.DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2023.10.012.

# Research and application of construction technology and management technology for large PCTC ships

Jie Liu<sup>1</sup> Li Chen<sup>2\*</sup>

Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Co., Ltd., Shanghai, 200137, China

## Abstract

To address both the short-term risks of concentrated PCTC order deliveries and long-term technological iteration demands, this study focuses on the structural construction of an 8600-type Pure Car and Truck Carrier (PCTC). The research provides in-depth analysis of critical process technologies for thin-plate fabrication and roll-on/roll-off equipment construction. By examining practical conflicts between technical processes and construction timelines during implementation, the paper proposes technical solutions to project management challenges. A comprehensive framework is developed to ensure safe and efficient construction methodologies for PCTC vessels.

## Keywords

Large-scale PCTC vessel; Construction technology; Management techniques; Efficient construction

# 基于大型 PCTC 船建造工艺和管理技术的研究与应用

刘杰<sup>1</sup> 陈力<sup>2\*</sup>

上海外高桥造船有限公司, 上海 200137

## 摘要

为应对PCTC订单短期集中交付风险及长期技术迭代需求,本文选取某8600车大型汽车滚装船(Pure Car and Truck Carrier,简称PCTC)的结构建造为研究对象,对该船型薄板建造、滚装设备建造重难点工艺技术进行了深入研究。结合实际建造过程中工艺技术与建造工期所产生的矛盾进行了剖析,对项目管控重难点的技术应对方案进行了阐述,综合提出了PCTC船型重难点工程安全高效的建造工艺技术方案。

## 关键词

大型PCTC船 建造工艺 管理技术 高效建造

## 1 引言

近年来,在全球汽车产业格局重构、IMO船舶环保法规升级和中国造船业技术突破等多重因素叠加驱动下,汽车运输船(PCTC)新造船市场迎来了爆发式增长。从短期看,新造PCTC船交付达历史峰值,市场处于短时盘点调整期,船厂新造PCTC船短期内交付风险在增加。从长期来看,汽车出口全球化驱动效应明显,据行业机构预测,至2030年仅中国车企汽车出口将突破1000万辆,也就意味着每年有10%以上的运力增长需求,其适运性要求进一步拉动高安全性新型PCTC船运力需求。无论是从化解短期内交付风险考虑,还是做好建造技术积累,不断增强市场核心竞争力,

船厂都必须对此型船建造工艺技术和管理技术进行全面、系统的研究和实践。

## 2 概述

本文以8600车LNG双燃料汽车运输船建造为例,从船型分、总段划分原则和要点,建造工艺流程管控重点,滚装系统关键结构、设备建造难点方面,重点总结概述关键建造工艺以及与船厂生产节拍相适应的管理技术和方法。该船型总长199.9m,型宽38m,设计吃水9.2m,设计航速19节,设计有标准车位8600个,气体模式下续航能力可达15000海里。该型船可以运输各种轿车、货车、公共汽车、拖车、卡车及其他重型建筑机械设备。型船最大的特点是设计有艉门和右舷的侧门与岸基联通,内部有活动坡道和固定坡道将每一层汽车甲板进行联通,车辆货物直接行驶完成装卸货,形成了一座大型的海上移动立体“车库”,该船型如图1所示,全船滚装系统和装卸货系统配备了目前最先进的自动化、数字化和信息化系统,可实现安全高效的滚装货物装卸作业。

**【作者简介】**刘杰(1971-),男,本科,高级工程师,从事船舶与海洋工程项目管理、生产建造管理研究。

**【通讯作者】**陈力(1989-),男,本科,工程师,从事船舶与海洋工程计划管理研究。

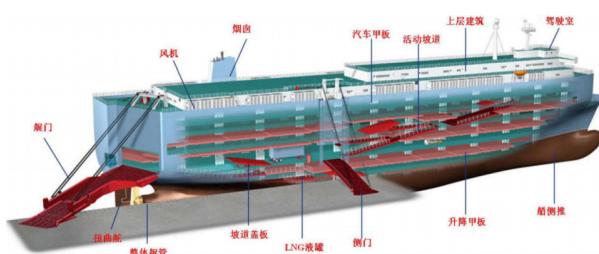


图 1 8600 车 PCTC 船型示意图

### 3 重难点建造工艺技术

#### 3.1 分、总段划分原则和搭载流程

(1) 与船厂工艺技术、制作生产线、场地、船坞和起重能力等资源，以及生产节拍和建造周期要求相适应。

(2) 为缩短和满足建造坞期要求，最大限度实现全宽总段建造。车辆舱区域全部采用全宽总段建造工艺设计，总体上自下至上划分为 20X、30X、50X。

(3) 坞内搭载建造：20X 总段→DK4 活动甲板（两侧）→DK3 至 DK5 立柱→DK4 活动甲板（中间）→活动坡道（预埋）/30X 总段→DK9 活动甲板（两侧）→DK8 至 DK10 立柱→DK9 活动甲板（中间）→活动坡道（预埋）/50X 总段。

#### 3.2 车辆舱结构建造

车辆舱共有 14 层汽车甲板，DK2、4、6、7、9 为 5 层活动甲板，其余为固定甲板，其中 DK5、8 为水密甲板，DK10、12 为气密甲板。甲板之间有距中心线非对称两排立柱支撑，形成车辆舱。全船钢结构量约 18000 吨，8mm 及以下钢板约占全船的 45%，12mm 及以下钢板约占全船的 60~70%。众所周知，薄板建造防变形技术到目前为止仍为世界级技术难题，纵观全建造流程，去除或减少材料内应力和结构应力成为技术核心。

##### 3.2.1 薄板分段制造工艺流程

薄板分段要最大限度安排在激光焊接流水线上生产，可有效确保分段的焊接变形，船厂需结合资源条件策划布局。如非激光生产线上制作，须严格执行以下制造工艺流程：钢板矫平→切割→拼板→拼板后压路机矫平→纵骨装焊→T 型梁装焊→反态做预拱→正态矫平完工。

##### 3.2.2 薄板应力处理及精度控制

钢板原材料预处理前需经两次多辊矫平机矫平，如条件允许，钢板切割后再进行一次矫平，材料内应力去除的将会更为彻底，平整度须满足  $1\text{mm}/\text{m}^2$ 。拼板工序要使用压铁重物将拼板缝压实，拼板后在专用的精度平台上利用压路机对拼板进行去应力矫平，必须要在主板平整度  $\leq 4\text{mm}$  后，方可进行纵骨装配等下道工序。所有薄板涉及的结构装配要求间隙  $0\text{--}1\text{mm}$ ，所有零部件装配前必须保证平整度  $\leq 4\text{mm}$ 。正态矫平时首先实行“背烧”释放焊接应力，对于空档非结构区域的薄板变形，进行低于  $400^\circ\text{C}$  的水火矫平，要求平整度  $\leq 4\text{mm}$ 。

#### 3.2.3 立柱制作与安装

此型船立柱结构是撑起车辆舱最重要的强力构件，其制作、安装精度和焊接质量要求甚高。甲板立柱是车辆舱固定甲板和活动甲板的重要支撑结构，其结构形式为矩形箱型结构，设置于 DK 1 至 DK 15 的 L7 和 L-12 处，立柱尺寸规格从下向上逐渐减小。立柱端部与甲板加厚板上表面和十字梁面板下表面的焊缝为全熔透焊，立柱本体上下端部 500mm 范围也为全熔透焊，其他区域为深熔焊。DK1 至 DK14 甲板立柱下口舷侧板、近舯板、艉壁板、艏壁板下端与甲板加厚板之间的全熔透角焊缝要求全部进行双面焊接，先焊接立柱内侧焊缝，立柱外侧焊缝碳刨清根后再进行焊接。DK1 至 DK15 甲板立柱上口舷侧板、近舯板、艉壁板、艏壁板上端与十字梁面板之间的全熔透角焊缝要求全部进行双面焊接，先焊接立柱内侧焊缝，立柱外侧焊缝碳刨清根后再进行焊接。

#### 3.3 滚装系统

滚装系统由艉斜跳板（艉门）、舷侧跳板（侧门）、车辆舱内部坡道（包括活动/升降坡道和固定坡道）、活动/升降甲板（其中 DK6、7 为两层连续活动甲板）以及电气系统组成。

##### 3.3.1 艤门建造及试验

艉门在收放操作过程中，折叠和翻转处铰链数量较多、同心度要求高。本体结构制作过程中，中间辅助铰链需要拉线照光和定位镗孔。艉门各节处于水平和展开状态、穿铰链轴销连接成整体，按照工艺程序要求依次完成静态负荷试验、第一/二节翻身组合折叠试验、各节进涂和出涂后设备完整性、正态折叠状态运输吊装。艉门第一次收放试验必须有大型起重机（起重能力大于 300T）进行保驾，确保安全。艉门的释放，由 8 甲板上 1 套电动液压油缸顶推装置使跳板从存放位置开始释放；艉门的展开，由布置在 15 甲板上的 2 台电动绞车及钢丝绳系统完成；艉门的折叠，由布置在第一节上的 2 台电动绞车及钢丝绳系统完成；在关闭位置，艉斜跳板由布置在开口四周由电动操作的插销装置将跳板锁紧为水密。

##### 3.3.2 活动坡道 & 坡道盖

活动坡道分为水密和非水密两种，其中水密坡道组成：活动坡道（向下开启）+ 活动坡道盖（向上开启）+ 水密+A60 防火；非水密坡道组成：活动坡道（向下开启）+ 非水密 + 无防火要求。活动坡道都是由安装在坡道上的电动绞车带钢丝绳或电动执行器系统操作，电动插销锁紧。

##### 3.3.3 活动甲板

DK2、4、6、7、9 甲板为活动甲板，由开式结构的甲板块组成。其中：DK2、4、7、9 活动甲板有 2 个工作位置和 1 个收藏位置，DK6 活动甲板有 1 个工作位置和 2 个收藏位置。DK2、4、7、9 活动甲板在工作位置由位于立柱及舷侧船体结构的组合支承座支承（固定支承座和半自动支承

座组合在一起），半自动支承块能够自动锁紧，手动释放。DK2、4、6、9 活动甲板在收藏位置由半自动支承座支承，DK7 活动甲板在收藏位置由 DK6 活动甲板支承。活动甲板无密性和防火要求，其间隙与高度差技术标准要求为：块之间间隙最大 30mm；块与舷侧纵桁之间水平间隙 30mm；无装载时块之间高度差 15mm。顶升操作由两台载荷分别为 30T 和 50T 的专用液压顶升车来完成。

## 4 项目管理重难点及技术解决方案

### 4.1 结构平整度管控及解决方案

本船型涉及到外板美观性和汽车甲板功能性的平整度要求都高于其它民用船舶，由于薄板易变形，使得达到平整度标准要求成为该型船建造过程中一个重难点工序，这道工序制约或决定了整个建造工期。平整度须在相关标准范围内（适用标准：《GB/T 34000-2016 中国造船质量标准》）。从钢板预处理、分段、总段到坞内搭载直至船舶建造完工，平整度贯穿全建造过程，为达到平整度要求的矫平工作亦贯穿全流程。结合该项目在实际建造管理过程总提出了“道道清”的矫平原则，即从钢板矫平直至船舶建造完工，各个阶段都按照工艺标准进行矫平，经多项目实践效果较好，得到了成功的验证。

#### 4.1.1 主板钢板矫平原则

主板采用钢板矫平机矫平，厚度 8mm 以下钢板矫平 2 次，板厚 8-12mm 钢板矫平 1 次，使用标杆检验，平整度满足 1mm/n<sup>2</sup> 要求。板厚 8mm 及以下主板拼板后在专用水平钢平台上使用压路机滚压矫平。

#### 4.1.2 轻型甲板 / 活动甲板 / 舷侧分段矫平原则

水平调整要求：支墩水平 ±2mm，分段四角水平 ±4mm。采取水火火工矫平方式，为了给后道工序二次变形矫平“留有余地”，加热温度须严格控制，结构硬档加热温度控制在 500℃ 以内，结构之间软档区域加热温度控制在 400℃ 以内。

#### 4.1.3 薄板矫平原则

薄板总段焊接完工、拆除不必要的临时支撑后，如果发生连续甲板平整度超差情况需二次矫平，原则上结构硬档优先使用电磁矫平，结构间软档使用火工矫平方式。矫平平整度满足甲板 ±6mm、外板 ±4mm 标准要求。

#### 4.1.4 薄板总段搭载合拢后矫平

薄板总段搭载合拢焊接完工、拆除所有加强支撑后，如果发生连续甲板平整度超差情况需二次矫平，原则上结构硬档优先使用电磁矫平，结构间软档使用火工矫平方式。矫平平整度满足车辆舱甲板及内围壁板 ±6mm、露天甲板及

外板 ±4mm 标准要求。从船舯向艏 / 艤、从船中心线向两舷侧，先两层甲板、后中间围壁，逐层向上矫平。

### 4.2 车辆舱区域完工管理

#### 4.2.1 区域划分

此型船车辆舱汽车甲板 14 层，面积 7.5 万平方米，空间巨大，如何做到安全、有序、高效地组织生产对于安全、建造周期和建造成本管控都至关重要。以 DK5、8、10、12 水、气密甲板为分界，自下而上分成 A (DK1-5)、B (DK5-8)、C (DK8-10)、D (DK10-12)、E (DK12-14) 五大物理空间区域，此为涂装交涂安全管控基本单元。在此基础上，将车辆舱细分为 14 个中区域和 72 个小区域，小区域作为结构、舾装等交涂前完工管理最小基础单位。内在施工完工计划遵循逻辑为从小区域、中区域到物理空间大区域依此遵循。

#### 4.2.2 区域完工管理流程



注 :ITR: inspection and testing report 检验试验报告

## 5 结论

本文通过对大型 PCTC 船型特有车辆舱薄板结构和滚装设备系统等重难点工程进行了重点研究，阐明了重难点工程的建造工艺和管理技术应用方案。主要结论如下：

(1) 此型船采用全宽总段建造工艺设计，可以大幅度减少坞内搭载吊数，大大提高搭载合拢效率，为缩短坞期和船舶建造坞内完整性提供了技术保障。

(2) 薄板建造从钢板原材料、拼板、分段、总段到搭载合拢全工序流程中采取机械和火工去应力、重新均匀分布应力是破解薄板建造变形难题的有效方法。

(3) 滚装设备安装精度要求高，并且精度控制涉及要素多，难度大。准确采集接口分段和背景结构精度数据，与本体精度表数据做好预匹配，识别偏差并预先修正，是解决滚装设备安装精度难题的有效途径。

(4) 车辆舱完工管理这一精益管理理念的应用，取得了“一次把事情做对”的成效，对大型 PCTC 船的高效建造起到了决定性作用。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会.《中国造船质量标准》( GB/T34000-2016 ) .
- [2] 黄浩.船体工艺手册[M].北京：国防工业出版社.1998.
- [3] 吴小明.5000车PCTC汽车滚装船薄板焊接工艺[J].电焊机.2008.

# Preliminary exploration of new image technology in construction engineering—The concept of professional development and application boundary expansion of construction engineering images

Daqian Zhao

Beijing Dongyitongfang Film and Television Culture Communication Co., Ltd., Beijing, 100100, China

## Abstract

Drawing on the author's two-and-a-half-year firsthand experience in documenting the construction of the Museum of the History of the Communist Party of China, this paper compares the author's involvement in filming tasks with the current "image collection" practices at construction sites. It identifies shortcomings in current "construction project imaging" and proposes professional improvements through equipment upgrades and methodological enhancements, enabling imaging technologies to better meet the specialized demands of "engineering image acquisition in construction environments". The study further envisions how these upgraded engineering imaging systems will integrate with digital twin technologies, 5G networks, and smart sensors to expand the application boundaries of engineering imagery. By leveraging the momentum of "China Construction", this paper explores how "image technology" can optimize the development of the construction industry ecosystem, contributing to the establishment of a discourse system for "China Standards".

## Keywords

film and television technology, information cycle, engineering image, discourse system, equipment specialization

# 建筑工程新影像技术初探—建筑工程影像的专业化发展与应用边界拓展的构想

赵大千

北京东艺瞳方影视文化传播有限公司，中国·北京 100100

## 摘要

本文以笔者历时两年半亲身参与纪实拍摄中国共产党历史展览馆建设全过程的经验为线索，通过将笔者所参与的拍摄任务与当今建筑工地上“影像采集”行为进行对比，总结现阶段“建筑工程影像”所存在的不足，并尝试从影像采集设备、影像拍摄工作方法等方面对其进行专业化改造，使影像拍摄技术能够更好地适配“在建筑施工环境下进行工程影像采集”这一专业化需求。同时展望经过改造后的全新的工程影像与数字孪生、5G、智能传感器等技术结合，继而丰富、拓展工程影像的使用边界，以“影像”优化“建筑工程”行业生态的发展方向，借助“中国建造”的上升之势，为打造“中国标准”的话语体系贡献力量。

## 关键词

影视技术、信息循环、工程影像、话语体系、设备专业化

## 1 “二一工程影像记录”带来的启发和思考

中国共产党历史展览馆（为保密工程，代号“二一”，现已脱密，以下简称“二一工程”）是为庆祝中国共产党成立一百周年而建设的献礼工程，“二一工程影像纪录”也以此为主题，首次以影像档案的视角，以动态影像的拍摄方式为大型重要建筑进行影像采集作业。初衷是“为历史留档”，

本着客观真实地记录中国共产党历史展览馆从奠基开工到装饰装修再到最后落成开馆的真实影像，见证了这一“百年殿堂”工程建设的全过程。<sup>[1]</sup>

由于“二一工程影像纪录”的高规格要求，所以笔者所在的团队本着“应拍尽拍，主动作为”的原则，结合历史经验与施工环境下的特殊情况，采用了非常规影像拍摄方法，以全方位、全过程、多机位、多角度的方式拍摄，注重影像的连续性和完整性。完整拍摄了施工过程中的各个环节，包括但不限于各个施工单位的日常施工进度，“正负零”等关键节点的记录，以及疫情之下的生产生活，施工进度会

【作者简介】赵大千（1998-），男，中国山西忻州人，本科，从事新媒体传播研究。

议等内容。这一具有统一协调、有组织有目标的影像采集工程最终贡献了 50000 余张图片，405 小时的视频素材，总素材量高达 40TB。完整纪录了建筑“生长”的全过程，如图

2 延时机位分布图所示，仅主体建筑外围的影像纪录，由第 1-13 台机位完成，机位密度之大确保了影像得以全面覆盖工程施工中的每个环节。<sup>[2]</sup>

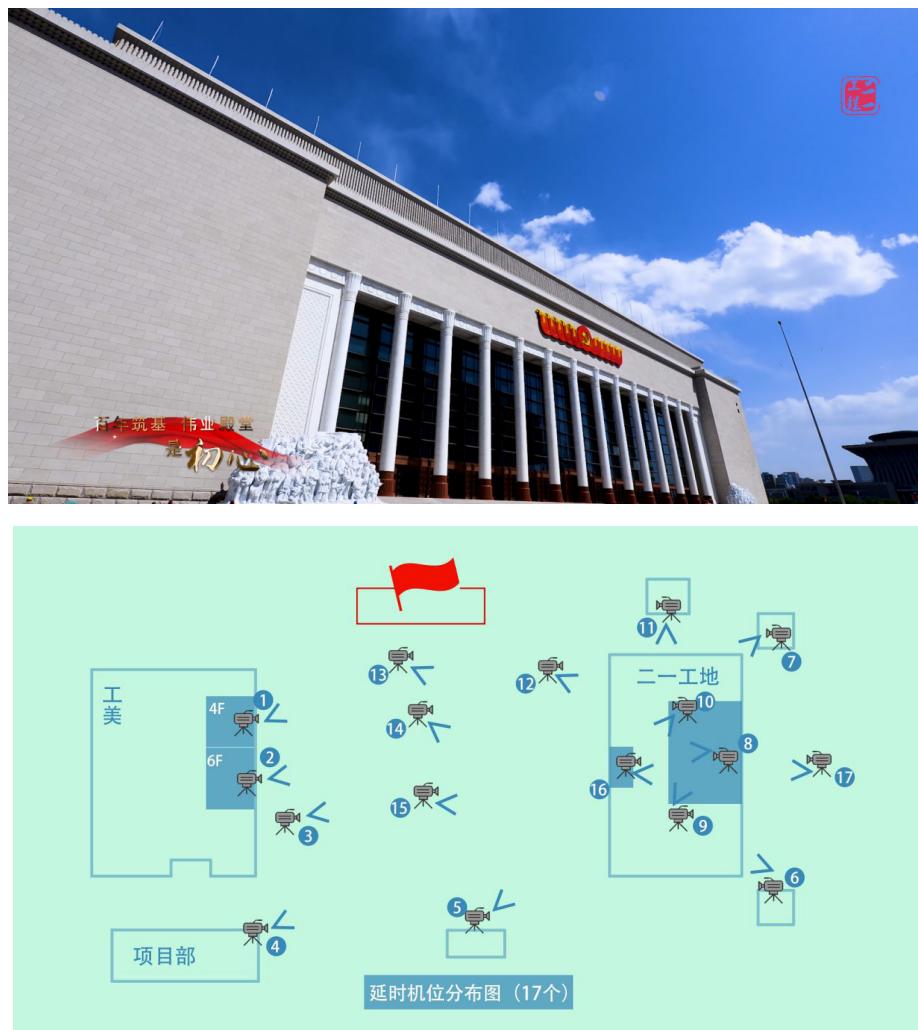


图 1：“二一工程影像纪录”延时机位分布图

在拍摄过程中，笔者发现，“二一工程影像纪录”可以涵盖工地上几乎所有的影像需求。以各个施工单位对项目宣传素材的需求为例，笔者所在的的专业化影视拍摄团队产出的高质量素材得以满足几乎每家施工单位的需求，而在一些会议场合，笔者所在的团队也能提供会议新闻需求的素材。<sup>[3]</sup>

同时，在拍摄的过程中，也出现了一系列以传统影视拍摄的眼光来看不曾遇到的全新的技术问题，首先便是拍摄设备在建筑工程施工环境下特有的的水土不服，例如，传统的影视行业的专业设备总会受制于工地供电不稳定、环境易变化、信号传输不稳定等问题的困扰，例如传统的佳能 5D4 单反相机，在室温 23℃的情况下持续录制的时长可达 90 分钟，但这不能满足拍摄施工周期漫长的建筑工程的需求。又比如传统的机位架设需要一个相对稳定、不受干扰的环境，但是工地施工环境中多环节多工种同时作业，人员、设备器材的流动往来频繁，导致了工地环境具有复杂、易变化、不稳定的特点。笔者认为，这些问题之所以存在，是因为传统

的影视行业拍摄设备（包括机器构造本身、镜头的设计、供电系统、素材转存方式及以三脚架为代表的附件在内）是为了服务在摄影棚或自然环境下的拍摄活动，而非是为了颇具变化与不稳定性施工场景的拍摄服务的。影视专业的场景普遍具有相对稳定、不易变化的特点，并且往往为拍摄提供了相对便利的条件。摄影棚中有丰富的灯光、背景、声音系统、室温环境。在这种环境下，摄影师大可以好整以暇地将主要精力放在操作机器上，甚至可以通过反复 NG 来确保镜头的质量。这与笔者团队在“二一工程”中面临的情况可谓天差地别，有时，一个镜头需求摄影师跟随施工人员进行纪实拍摄，施工人员可以手脚并用地爬上十多米高的脚手架，而摄影师则要在不影响施工的前提下，一边手持单反相机一边与施工人员做出同样的动作爬上爬下，这个难度可想而知。我们再来看自然环境下的拍摄，在自然环境下的拍摄往往持续时间并不长，通过多携带电池与内存卡并且依靠人工进行装配也可以在一定程度上满足拍摄需求。而一旦有以月

或者年为单位进行的长时间、不间断拍摄或者某些特殊行业对拍摄的特殊需求，例如在自然环境中拍摄动物觅食、日常活动等，会用到长时间待机且具有夜视功能的伪装相机、内窥镜等非常规拍摄设备。以此类推，这些设备的出现或使用是由需求决定的，往往会通过订制、改造现有的影视拍摄设备，使其更符合自身的拍摄需求。这种对影视设备的溯源促使笔者进一步思考，如果以“满足施工工地上的影像记录”为目的，我们现有的影视拍摄设备该如何进行改造，才能解决“水土不服”问题？为何一个为业主单位负责的影像记录工程却可以满足各个施工单位的具体需求，假如没有这样一个工程影像纪录团队，传统的建筑工地上影像拍摄又会是什么样的？显然，能够解决这些问题的线索指向了“影视”与“建筑”这两个专业的交叉点。<sup>[4]</sup>

## 2 影视与工程施工的历史追溯

位于法国巴黎西堤岛的天主教教堂巴黎圣母院，始建于公元 1163 年，正式名称为巴黎圣母主教座堂，是法国地标打卡地和欧洲哥特式建筑的典型代表。1839 年 8 月 15 日，法国化学家达盖（Daguerre, 1787-1851）用他发明的银版摄影术，为巴黎圣母院拍摄了第一张照片，成为摄影术发明早期最为知名的一张专业的建筑照片。<sup>[5]</sup>

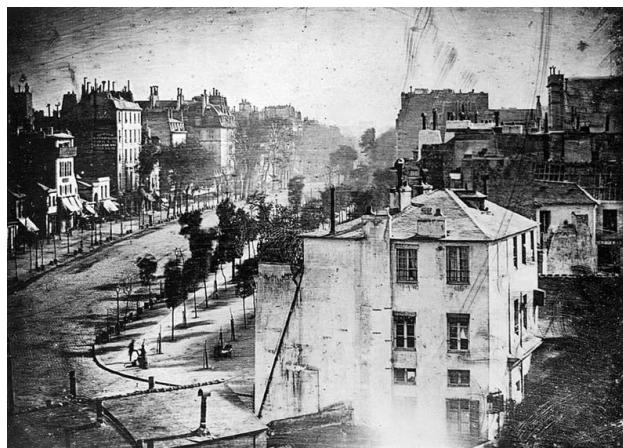


图 2：银版摄影法《巴黎圣母院》

《美国摄影百科全书》（1992 年版）对“建筑摄影”定义为：“建筑摄影主要是记录建筑特点，专为建筑师、设计师或历史学家服务。”这句话首次表明了建筑摄影与建筑设计之间的紧密联系。像达盖这样为固定建筑进行拍摄的工作即是建筑摄影的雏形。此后，欧美各国开始进行建筑影像相关的研究和实践，打破了文学史料的局限，人们纷纷从 20 世纪初至今的许多影像资料中寻找历史建筑的真实信息。进入 21 世纪，电子化数字影像技术开始尝试运用全息模拟对建筑进行复制。在中国当下的建筑工地上建设过程中，建筑与影视早已结缘，通过使用摄像机、单反照相机和手机拍摄采集到的影像一方面用于规范建设者的生产行为，强化建筑工地管理，规范建筑工程验收标准，作为历史材料入档。另

一方面用于项目建设的内容传播，树立典型人物形象，突出出资方深厚专业实力。随着影视技术和新一代信息技术的发展，智慧工地管理也开始应用高清摄像机拍摄的图像为工程信息化管理赋能，施工各方对于建筑施工影像的需求逐渐加大，要求也逐渐细化，“影视”与“工程”这两个专业领域正呈现逐渐交融的趋势。<sup>[6]</sup>

## 3 当今建筑施工环境中的“影像采集”行为

在当今建筑施工环境中的“影像采集”行为，从对影像素材本身的不同用途出发，大致可分为三种：

第一，以规范施工人员行为、规范验收标准、为工程建设的质量而服务的工程影像拍摄。包括工地周遭的临时监控，安全员监督检查施工人员安全规范的过程性影像资料留存，监理监督施工、旁站和验收时采集的影像资料都属这一范畴。在当今的建筑工地上，普遍还是采用“人工旁站”来进行过程性监督，影像拍摄仅仅作为证据留存而使用，且由于摄制人员普遍为工程施工行业内的从业人员，而非影视专业人员，拍摄素材的质量高度受制于摄制人员本身的拍摄水平，再加上使用的拍摄设备并不统一，这一类别中的影像资料也往往呈现出影像拍摄不清晰、虚焦、镜头晃动过大以及拍摄流程不符合工程影像验收标准的种种问题。<sup>[7]</sup>

第二，供参与施工的企业进行内外部宣传的影像采集。通常包含建设过程中具有突出表现事迹的人物、建设过程中的重难点等关键信息。这一范畴里的影像摄制人员，包括各参建单位的宣传部门人员、雇佣的专业摄影人员在内，普遍具有一定的影像拍摄经验，且与雇佣方具有牢固的从属或雇佣关系，再加上工程施工过程中的各方对于这类影像资料的需求各不相同，就导致了从整体的工程施工角度来看，这一类别的影像拍摄呈现出高度碎片化和零散化的特点，例如一家从事机电安装的参建单位派出或雇佣的摄制人员，主观上并不具备拍摄其他工程环节的动机，因为其他的参建内容并非他的拍摄目的。且各方是否会进行这一类的影像采集也并不统一，这也客观上造成了部分施工环节中影像资料的缺失。<sup>[8]</sup>

第三，随着影视拍摄技术和电信传播技术的发展，在“自媒体时代”的大背景下，建筑工程施工过程中出现了许多为自我表达而服务的影视拍摄行为，如各大视频平台上均有流行的“塔吊司机的一天”类型视频。这一类别的摄制者以施工人员为主，其拍摄行为也高度个人化和零散化，并且难以进行细致的监管规范，涉及到施工进度和保密工程时，往往会对工程本身产生舆论影响。<sup>[9]</sup>

综上所述，当今建筑施工环境下的影像拍摄行为，普遍呈现出非专业、零散化、碎片化的特点，这对于建筑施工的资料留存和建筑本身来说是一种巨大的损失。而结合“二一工程影像纪录”的经验来看，这些缺点可以通过“专业拍摄人员、专用的拍摄设备和专业的拍摄方法”整体承包

的这种方式来完成，专业化解决了非专业的素材质量问题，全过程全记录的伴随式拍摄解决了零散化和碎片化的问题，这也是“二一工程影像纪录”能够满足大部分工地的影像需求的主要原因。但是笔者所在团队遇到的技术性难题却表明了“二一工程影像纪录”的做法还存在优化的空间，“工地上的影像记录”这个行为在实际执行层面应该如何优化，它又能否在除了“文史宣传”价值之外产生全新的价值？下面，笔者将从“工程影像拍摄”在建筑生命周期中的定位入手，尝试分析并解决上述的问题。

抽象地看，一栋建筑的诞生，是由建筑师脑海中的虚拟信息转化为建筑实体的过程，是由虚拟的信息变为实体信息的过程。而影视技术的诞生，是为了将实体信息记录为虚拟信息，是一共从实体信息向虚拟信息转化的过程。

在建筑工程施工的环境下，将两者结合后，可以抽象地将其理解为一个信息的循环，如图 3 所示。在这个循环中，最初诞生自建筑设计师脑海中的构思信息，经由图纸细化，最终落实到施工并竣工，变为实体信息，而这个过程经由影视技术的全程记录后，又储存为虚拟的影像信息，这个影像信息，不考虑施工过程中的临时调整等因素的影响，一定是会和最初建筑师脑海中的构思信息相等的。这个信息循环的成立，可以从底层逻辑上确保建筑保质保量地施工并验收。<sup>[10]</sup>

然而，目前在工程施工环境中，这个影像数据的链条大部分时候是断裂的，即影像数据无法最终与构思信息进行

同步。导致这个现象的原因主要有两点，其一是上文提到过的，传统的影像拍摄设备和影视拍摄方式均诞生自影视行业，是专为影视专业的拍摄而服务的，服务的对象与主体是影视事业，而非建筑施工工地，目前建筑行业内并不存在专用于工程施工环境拍摄的影视设备与拍摄方法，而传统的建筑施工工地上也并不会专门为影视拍摄留出相对便利与宽容的拍摄条件，可以说，当今的“工程”与“影视”两个专业只是简单、粗暴地进行了最基础的结合，是直接将影视行业的工作方法不经改良地套用到建筑施工环境中工作，必然会出现上述“水土不服”的问题。其二是观念方面的问题，在“建筑工程施工”这个整体的大环境下，影视工作实际上是围绕着建筑施工开展的，大部分决策者也是工程专业人士，习惯于埋头做事，对于将过程记录、乃至展示往往抱有谨慎、轻视的态度，且出于节省成本的考虑，因陋就简地以“人工旁站”部分替代“影视拍摄”的作用，最终也会导致影视信息收集不到位，信息循环断裂。这促使笔者进一步地思考，如何首先从影像拍摄技术角度出发，将影像采集设备、影视拍摄工作方法、影视拍摄人员进行专业化改造，使影像拍摄技术能够更好地适配“在建筑施工环境下进行工程影像采集”这一专业化需求，使信息的循环不再断裂，继而改变传统施工决策者固有的认知，推动“建筑工程”与“影像”两个专业进行深度交融。



图 3：信息循环示意图

## 4 建筑工程影像的专业化发展构想

### 4.1 设备创新

笔者认为，工程影像采集技术的进步，要通过推动“建筑工程”与“影视”两个专业的深度融合来实现。

影视技术要进行适配于工程施工环境的变革，而工程施工环境也要为影像采集的顺利进行提供必要的支持。如图3所示，笔者从影像拍摄设备构成要素的角度，将其与建筑

施工环境的各要素进行了适配，从而模拟出专用于工程施工环境下的影像采集设备的构成，其中需要着重强调的是传输方式、供电。目前，依托电信信号传输图像的技术已经十分成熟，在施工环境中设置专门用于工程影像传输的网络专线是解决图像转存难、公用信号传输慢的最便捷手段，设备供电也可以通过在工地上设置影像采集设备专用临时用电来解决。

建筑工程数字化影像档案设备研发示意图

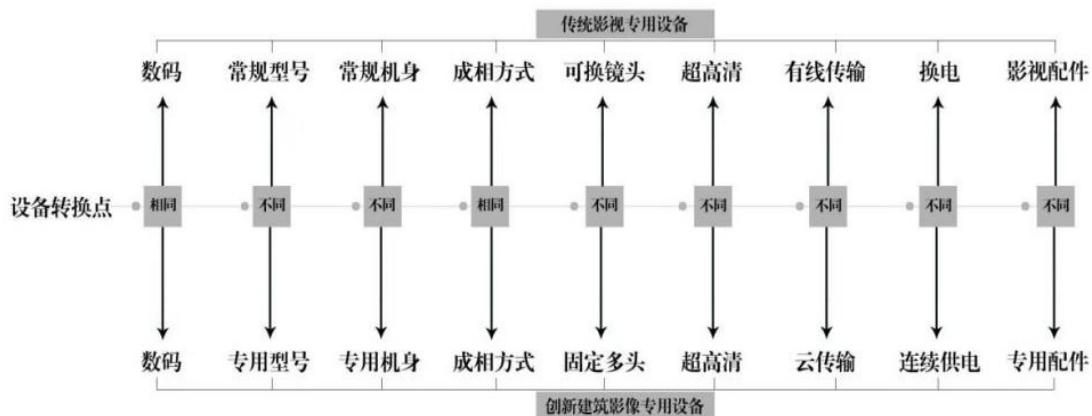


图 4：建筑工程“新影像”设备研发示意图

### 4.2 工作方法创

笔者认为，以高度组织化、专业化的团队运作方式进行影像采集工作是“新工程影像”的发展方向。如图4所示，笔者以传统影视行业的前期拍摄、制片协调、后期制作三大工种为蓝本，构建出“前端、中端、后端”三个工种，尝试搭建一个成熟的“新工程影像”采集团队的工作模式。

前端人员主要根据施工进度及施工安排，在施工现场设置、调整拍摄设备，并进行拍摄设备的维护与位移，配合

后端进行素材的实时传输，同时，根据实际需求，进行临时性的手操拍摄；中端人员主要负责与各施工方进行协调沟通，明确当日拍摄需求，辅助前端进行设备调整与维护，同时向后方转达各方对影像素材的突发性需求；后端人员需要负责接收前端人员传输的影像素材，将其上传至云平台方便调取，并对素材按照日期、标段、施工内容及拍摄内容进行整理归档，同时配合中端传达的需求，进行临时性的素材调取工作。

建筑工程新影像项目团队施工示意图

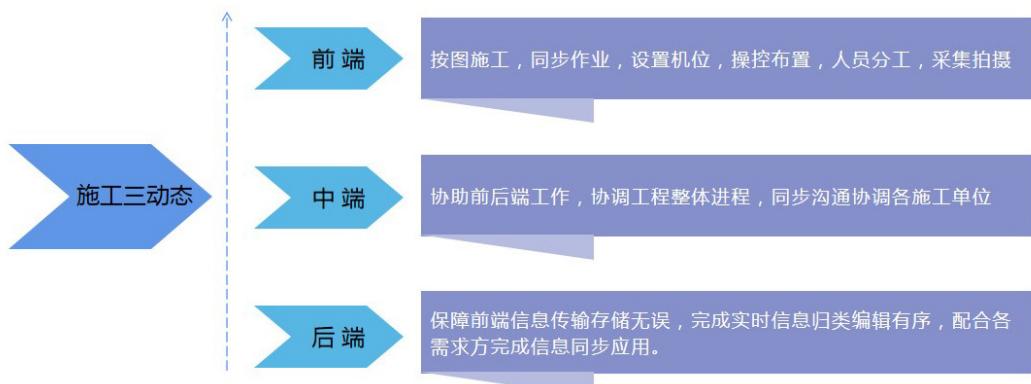


图 5：建筑工程“新影像”项目团队施工示意图

### 4.3 工作流程创新

笔者认为，“新工程影像”团队的工作应该贯穿建筑施工全周期。如图 6 所示，在设计阶段，通过 BIM 技术，从建筑建模的角度进行拍摄前期策划，制订包括前端、中端、后端三个工种的人员数量、设备数量、拍摄周期等环节在内的拍摄施工计划草案，明确成本核算。

在施工阶段，结合施工规划与建设进度的推进，逐渐

明确、细化拍摄内容，制订拍摄计划，规划拍摄日程，并且根据各方临时需求，完成拍摄任务。同时，将影像是素材进行整理，上传平台备份，满足各方调用需求。

在竣工验收阶段，对整体素材进行检查核对所有数据名称，保证工程影像档案的全面完整性，根据各需求方的不同需求做好分类编排，将素材备份统一转交给业主、项目运营方，为建筑运维提供保障。

**建筑工程新影像施工流程示意图**



图 6: 建筑工程“新影像”施工流程示意图

### 4.4 与智慧技术相结合的可能性

国家在《“十四五”建筑业发展规划》中提出的“加快推进建筑信息模型（BIM）技术在工程全生命期的集成应

用”，打造建筑产业互联网平台”的主要任务。如图 6 所示，笔者认为，“新工程影像”技术的研发，正符合了未来的发展方向，也可以助力“十四五”任务目标顺利实现。

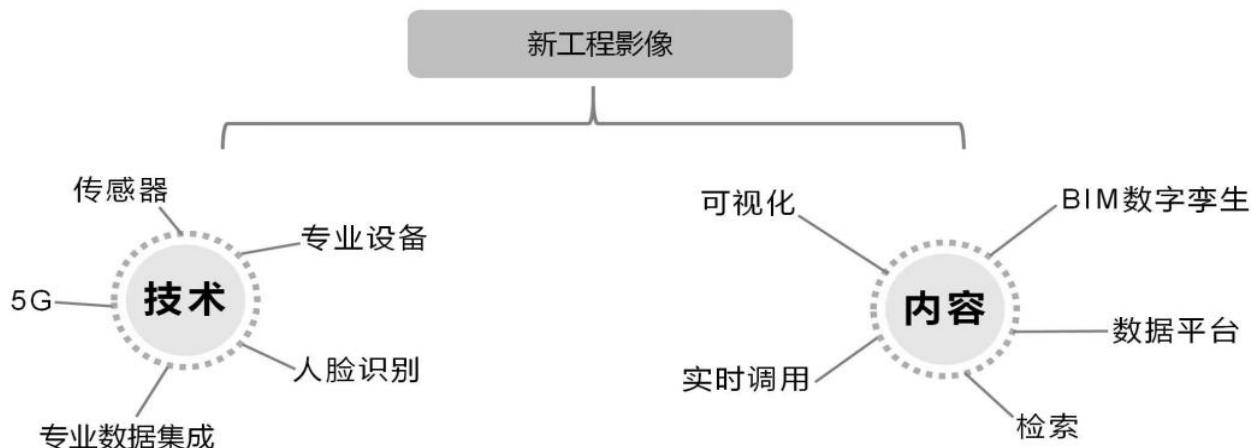


图 7: “新工程影像”技术内容关联图

## 4.5 全新的智能化拍摄设备

笔者认为,有别于传统“影视”行业的拍摄设备,在“新工程影像”技术的研发中,有必要引入全息拍摄技术,通过超清 8K 分辨率的 360° 的场景画面,保证拍摄场景内信息的全面收录。同时,设备可以与传感器、声控、人脸识别等智能技术相结合,具有远程检测并通过扬声器语音提示施工人员安全规范的效果,能够为建筑工地智慧化管理提供升级方案,为建筑的高质量建设提供有力保障。

## 4.6 与数字孪生技术结合的可能性

在设计阶段,实际拍摄的影像可以通过 3D 技术、全息技术与以 BIM 为代表的数字孪生技术相结合,以实际的工程影像和虚拟的建模模型形成互为表里的相互参照,工程建模可以为工程影像采集工作的顺利开展提供前期策划方面的支持。

而在施工阶段,工程影像也可以用真实、全面的影像资料从工程实际的角度反哺工程建模,构成真实与虚拟之间的相互交融,相互印证。

## 4.7 建立数据云平台的可能性:

“新工程影像”凭借其真实、全面的特性,结合全息环绕摄影等成熟的影视拍摄技术,可以应用于互联网平台,在其中构建起可视化的、可互动的内容板块,如同“博物馆

云游览”的概念一样,同时,庞大的素材也可以按照需求的不同进行分类,上传到平台中,依托云存储、云计算功能为各方提供实时检索、调用的深度服务同时也解决了庞大素材的存储问题。

高度组织化、专业化的团队协作保障了收集到的工程影像资料的完整性与专业性,工程影像采集技术的创新为工程影像的采集提供了技术支撑与工作标准,随着工程影像拍摄设备与工作方式的标准化,诞生自这套技术的影像资料本身也应体现出迥异于建筑工程旧影像的全新的生命活力。

## 5 观念的改变——建筑工程新影像的全新价值

如图 8 所示,笔者将传统工程影像的特点与全新的工程影像进行了对比,从中不难看出,新的工程影像有别于旧工程影像的最大优势在于影像资料的真实性和全面性。“真实性”是新建筑工程影像的核心价值,“全面性”使得这份庞大的建筑工程影像资料具有与施工环节上每个链条进行组合嫁接的延展性。如此一来,新工程影像真正摆脱了传统的工程施工专业人士脑海中对于“影视拍摄”的刻板印象,不光能够对建筑施工进行正面影响,还能够借助“中国建造”在世界范围内的加速开疆拓土的东风,树立起“中国工程影像”的标准,从侧面助力搭建中国标准主导下的话语体系。



图 8: 建筑工程“新影像”设备研发示意图

### 5.1 设计阶段

通过 BIM 建模进行前期工作策划,将实际影像同步至 BIM 软件中,进行建模与实际场景,虚拟与真实之间的适配。

### 5.2 施工阶段

由于建筑工程新影像具有全面性的特点,一定程度上弥补了过往工程影像重验收结果影像而轻过程影像的不足。对施工工地上依靠“人工旁站”进行过程监督的现状进行优化与升级,从依靠“人脑记忆”升级为可传播、可复制、可再现的“电信号记忆”。通过影像素材的及时调用,可以将工程施工隐患扼杀在萌芽状态,使建筑从设计、施工到建成全息透明,让建筑隐患没有藏身之处,助力项目工程保质保量完成建设,符合国务院《建设工程质量管理条例》(2019)第六条“国家鼓励采用先进的科学技术和管理方法,提高建设工程质量”的相关规定。

①影像资料可回放、可追溯、可传播、可持续、可复制的特点,又能够为建筑工地的安全生产及施工管控赋能。未来自动化、智能化的拍摄一方面节省了人力成本,另外一方面为建筑安全员的巡场监督提供了便利。

②建筑工程新影像与传感器、声控、人脸识别等智能技术相结合,能够为建筑工地智慧化管理提供升级方案,为建筑的高质量建设提供有力保障。

如在“二一工程”地下隐蔽工程的建设中,图纸标示抗震级别为八级,纪录影像对实际施工中钢筋、水泥等建筑材料的质量、建筑结构与布局、施工过程等都有真实纪录,使看不见的建筑隐蔽部分因为有了影像数据的完整同步纪录而透明化,进一步辅助和强化了监理工作,使建筑的偷工减料、质量问题无可遁形。

### 5.3 建筑投入使用后漫长的运营维护阶段

“新工程影像”可以提供真实客观的查询数据与参考，特别在一些需要持续运营和维护的关键设备点位，可以因地制宜地将相关影像进行提取，制作成独属于该建筑的运维教材，保障建筑的顺利运营。

### 5.4 文史宣传价值

“新工程影像”作为客观真实全面的建筑影像集合，伴随建筑物全生命周期的影像身份档案，成为建筑历史研究的史料支撑。例如，中国共产党历史展览馆投入运营后，“二一工程影像纪录”作为档案的详实性和唯一性，作为传播资料的生动性和鲜活性，作为研究材料的全面性和深刻性，至少在档案、传播、研究等几个方面发挥了积极作用。

如图 9 所示，“二一工程”影像被大量运用于在 CCTV-13 新闻频道播出的纪录片《中国共产党历史展览馆建设纪实》中。

通过建筑工程“新影像”需求示意图可以看出，“新工程影像”链接起设计、施工、运营、管理等建筑物的全要素和全生命周期，形成一套可循环的生态系统，并通过云存储实现系统内部的共生共享，整体优化了建筑行业生态。

建筑是城市的重要部分，“新工程影像”必然为政府制定智慧城市管理法规提供依据，为建筑行业发展提供真实的大数据支撑，为建筑行业创新改革提供可共享、可借鉴、可追溯的数字化立体影像库。



图 9：“二一工程”影像用于 CCTV 纪录片《中国共产党历史展览馆建设纪实》

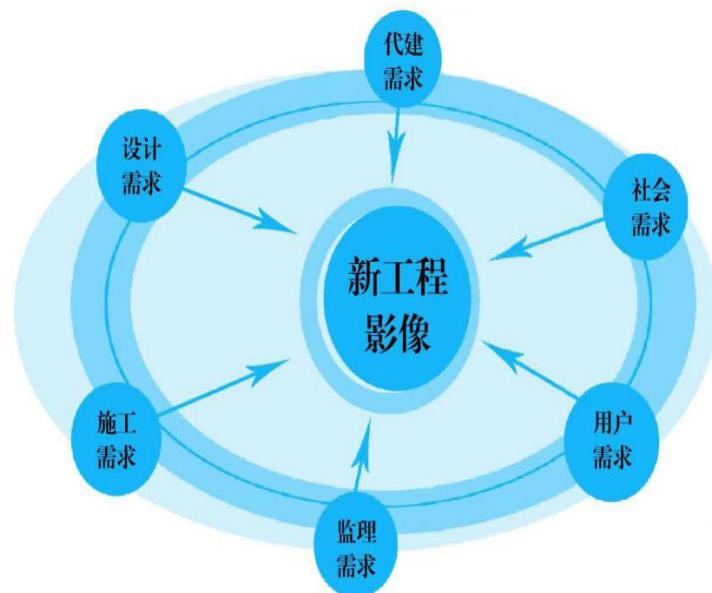


图 10：建筑工程“新影像”需求示意图

## 6 结语

建筑工程影像的现状体现了“影视”与“建筑工程”两个专业间简单初级的相互应用，随着建筑工程影像的深度研发，两个专业间的交融将会越发深入，越发成熟。建筑施工链条中的各方、社会对标准化影像的需求越发迫切，同时摄影技术的发展和 5G 互联网广泛的应用，大数据、云计算、区块链、元宇宙等高新科技技术手段让影像专业深度服务于建筑施工领域成为必然趋势。

“新工程影像”的发展与应用，符合国家在《“十四五”建筑业发展规划》中提出的“加快智能建造与新型建筑工业化协同发展”，“完善工程质量安全保障体系”，“加快建筑业‘走出去’步伐”等主要任务指示精神。这是一次建筑与影像的深度融合，更是一次优化建筑行业生态的重要机遇，如果能够成功建立一套标准体系，将成为超越建筑物生命周期的永久性数字化档案，成为“中国标准”的重要组成部分，其系统化、数字化解决方案将使建筑行业与影视行业发生质的飞跃，引发行业变革，促进建筑与影视产业技术的创新驱动发展，使两个专业得以跨越式发展。因此，影像对建筑的重构暨“新工程影像”将全面提升影视与建筑的经济效益、社会效益、质量效益和生态效益，对促进两个专业间

的深度融合，推进工程建设标准国际化，中国特色话语体系建设有着重要意义。

## 参考文献

- [1] 《“十四五”建筑业发展规划》(2022)
- [2] 尹金各,周立玮.探讨如何做好工程影像资料的收集整理工作[J].城市建设理论研究(电子版),2019(25):62.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201925056.
- [3] 钟杨,隗强,李志旗.影像资料在工程施工中的实际应用[J].中国水利,2020(08):56-57.
- [4] 《建筑影像学概论》杨新磊 (中国社会科学出版社)
- [5] 《何谓建筑》——藤森照信的建筑思考 (上海人民美术出版社)
- [6] 《工程监理文件资料管理标准化指南 (房屋建筑工程)》(2017)
- [7] 《建设工程质量管理条例》(2019)
- [8] 《建设项目档案管理规范》(2018)
- [9] Michael Busselle(1992). The Encyclopedia Of Photography. London:Bounty Books.
- [10] 唐青叶,张稳.话语赋能中国式现代化国际传播[J].对外传播,2023,(11):48-52.