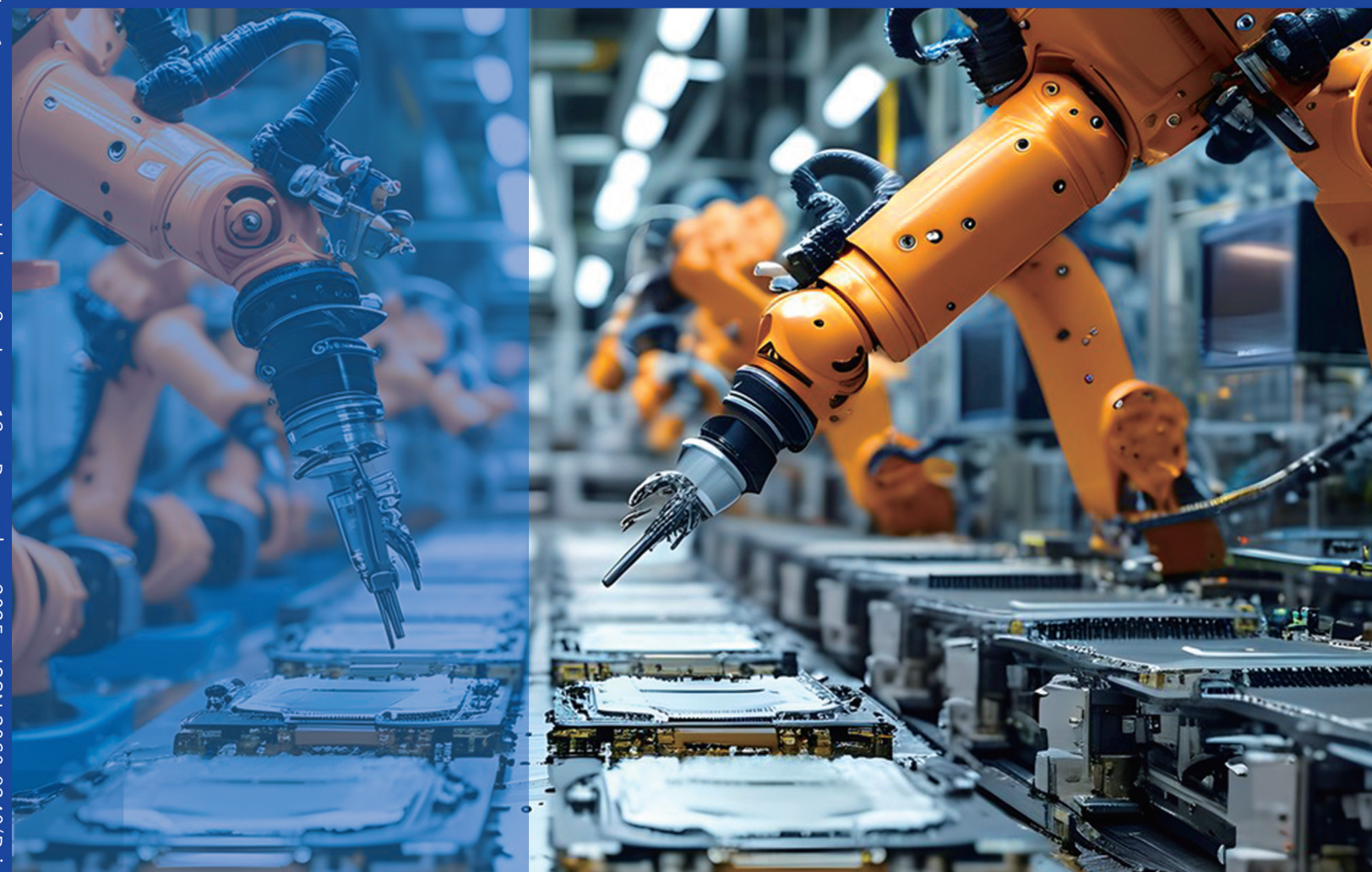


# 现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 2 • Issue 12 • December 2025 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(Online)



现代工业与技术  
Modern Industry and Technology

Volume 2 • Issue 12 • December 2025 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(Online)

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



中文刊名：现代工业与技术

ISSN: 3060-9240 (纸质) 3060-9259 (网络)

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Modern Industry and Technology

ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《现代工业与技术》征稿函

### Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

### 版权声明/Copyright

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

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

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

Email: [info@nassg.org](mailto:info@nassg.org)

Tel: +65-65881289

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



### 期刊概况：

中文刊名：现代工业与技术

ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)

出版语言：华文刊

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

### 出版格式要求：

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

### 出刊及存档：

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

### 作者权益：

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

### 评审过程：

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

# 现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 2·Issue 12· December 2025·ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(online)

## 编委会

### 主 编

蒋 晶 郑州大学

### 编 委

李伟锋 华东理工大学

李 硕 重庆理工大学

李益国 东南大学

高学金 北京工业大学

郭乃信 通力电梯有限公司

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | 氧化铝项目可行性研究阶段技术经济评价方法研究<br>/ 程多麦           | 16 | 试析电梯运行故障的检测方法与预防策略<br>/ 张瑛                                |
| 4  | 配电网自动化与智能化改造方案研究<br>/ 史剑锋                 | 19 | 融媒体时代广电工程技术升级与发展路径<br>/ 柏建                                |
| 7  | 智能电网背景下装表接电规范化作业流程优化研究<br>/ 王建            | 22 | 高盐高 COD 废水协同分离技术优化及纺织行业工程<br>应用实践<br>/ 罗云刚 刘洁 乔宏威 孙守秀 陈依铃 |
| 10 | 基于数字孪生的工业过程建模与计算机并行仿真优化<br>/ 宋涛 莫定源       | 25 | 火力发电厂发电机组集控运行技术探析<br>/ 王松                                 |
| 13 | 工业机器人与电气自动化融合在智能制造中的应用<br>研究<br>/ 王金星 施雪清 | 28 | 用电采集大数据在电力需求侧管理的应用研究<br>/ 王娇                              |

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 1  | Research on Technical and Economic Evaluation Methods for Feasibility Study Stage of Aluminum Oxide Projects<br>/ Duomai Cheng                   | 16 | Analysis on Detection Methods and Prevention Strategies for Elevator Operation Failures<br>/ Ying Zhang   |
| 4  | Research on Automation and Intelligent Transformation Schemes for Distribution Networks<br>/ Jianfeng Shi  | 19 | Upgrade and Development Path of Radio and Television Engineering Technology in the Era of Converged Media<br>/ Jian Bai   |
| 7  | Research on Optimizing Standardized Operation Procedures for Meter Installation and Power Connection in the Context of Smart Grid<br>/ Jian Wang | 22 | Optimization of Co-Separation Technology for High-Salinity and High-COD Wastewater and Its Engineering Application in the Textile Industry<br>/ Yungang Luo Jie Liu Hongwei Qiao Shouxu Sun Yiling Chen |
| 10 | Industrial Process Modeling and Computer Parallel Simulation Optimization Based on Digital Twins<br>/ Tao Song Dingyuan Mo                       | 25 | Analysis on Centralized Control Operation Technology of Generating Units in Thermal Power Plants<br>/ Song Wang   |
| 13 | Research on the Application of Industrial Robots and Electrical Automation in Intelligent Manufacturing<br>/ Jinxing Wang Xueqing Shi            | 28 | Research on the Application of Big Data Collection in Electricity Demand Side Management<br>/ Wang Jiao   |



# Research on Technical and Economic Evaluation Methods for Feasibility Study Stage of Aluminum Oxide Projects

Duomai Cheng

Chinalco Zhongzhou Aluminum Co., Ltd., Jiaozuo, Henan, 454350, China

## Abstract

The alumina project, as an essential component of the aluminum industry, has its production process and market demand directly impacting the project's feasibility and economic benefits. In the feasibility study stage of an alumina project, the application of technical and economic evaluation methods is crucial. This study first analyzes the production process and market demand of the alumina project, explores the industry's background and development prospects, and clarifies the necessity of conducting a technical and economic evaluation. It then introduces the basic theories of technical and economic evaluation, elaborates on its main methods and steps, and focuses on analyzing the key indicators and models for both technical and economic evaluations. By comprehensively analyzing factors such as technology selection, process flow, technology maturity, and economic benefits in the alumina project, this paper proposes an optimized technical and economic evaluation method, providing scientific support for decision-making in alumina projects.

## Keywords

alumina; technical and economic evaluation; investment budget; process flow; risk control

# 氧化铝项目可行性研究阶段技术经济评价方法研究

程多麦

中铝中州铝业有限公司, 中国·河南焦作 454350

## 摘要

氧化铝项目作为铝产业的重要组成部分,其生产工艺与市场需求直接影响着项目的可行性与经济效益。在氧化铝项目的可行性研究阶段,技术经济评价方法的应用至关重要。本研究首先对氧化铝项目的生产工艺与市场需求进行了分析,探讨了项目的产业背景与发展前景,并明确了进行技术经济评价的必要性。然后,介绍了技术经济评价的基本理论,详细阐述了其主要方法与步骤,重点分析了技术评价与经济评价的关键指标与模型。通过对氧化铝项目中的技术选型、工艺流程、技术成熟度、经济效益等因素进行综合分析,本文提出了优化的技术经济评价方法,为氧化铝项目的决策提供了科学依据。

## 关键词

氧化铝; 技术经济评价; 投资预算; 工艺流程; 风险控制

## 1 引言

氧化铝是铝土矿经高温处理获得的白色结晶物,广泛应用于铝工业的基础原料。随着全球铝产业的快速发展,氧化铝项目的投资规模逐渐扩大,成为地区经济增长的重要驱动力。然而,氧化铝项目涉及的技术、经济、环境等方面因素复杂,如何通过科学有效的技术经济评价方法进行可行性分析,成为项目能否成功实施的关键。在氧化铝项目的可行性研究阶段,技术经济评价方法不仅能帮助决策者从技术层面验证项目的可行性,还能从经济角度评估项目的盈利性及潜在风险。本文将结合氧化铝项目的特点,探讨适用于该领域的技术经济评价方法,旨在为实际项目提供切实可行的指

导方案。在这一过程中,将重点关注氧化铝项目的技术选型、投资预算、经济效益等多维度评估,确保项目能够在可控的风险下实现最优化的经济回报。

## 2 氧化铝项目概述

### 2.1 氧化铝的生产工艺与市场需求

氧化铝的生产工艺主要包括铝土矿的开采、原料的处理及溶出、沉降、分解、焙烧等过程。首先,铝土矿经破碎、磨矿后配制成料浆,经溶出、沉降后产出铝酸钠溶液,铝酸钠溶液经过滤后成为精制液,经分解、过滤后产出氢氧化铝,氢氧化铝经焙烧最终产出氧化铝。氧化铝是铝土矿中提取铝的中间产品,广泛用于铝工业的电解铝生产。随着全球对铝材需求的持续增长,氧化铝的市场需求也在不断提升,特别是在航空、汽车、建筑等行业中,铝材作为轻量化材料的应用前景广阔。氧化铝市场不仅受到原料价格波动的影响,还

【作者简介】程多麦(1986—),男,中国河南焦作人,本科,从事项目前期管理研究。

与全球经济发展、环保政策以及技术创新密切相关。未来,随着可持续发展和节能减排要求的提高,氧化铝生产的绿色化和高效化将成为行业发展的主要方向。

## 2.2 氧化铝项目的产业背景与发展前景

氧化铝产业是铝工业的重要支撑,全球范围内的铝土矿资源分布不均,这使得氧化铝项目的投资和建设面临不同的市场环境。近年来,随着全球铝产业的不断壮大,氧化铝项目在世界范围内迅速增长,特别是在中国、印度、巴西等新兴经济体中,氧化铝生产能力持续扩张。这些地区不仅拥有丰富的铝土矿资源,还具备较低的生产成本,成为全球氧化铝市场的重要生产基地。展望未来,随着全球基础设施建设和绿色能源需求的增长,氧化铝的需求将保持增长态势,行业将继续向高效、低碳化方向发展,推动氧化铝项目技术的革新与产业整合,进一步提升市场竞争力<sup>[1]</sup>。

中国电解铝行业自2017年供给侧改革以来,实行了严格的产能总量控制政策,产能总量上限4500万吨。2025年3月,工业和信息化部等十部门联合发布《铝产业高质量发展实施方案(2025—2027年)》,为铝产业近三年的发展指明了方向。方案要求稳慎建设氧化铝项目,新改扩建项目能效须达到强制性能耗限额标准先进值,不再新建或扩建以一水硬铝石为原料的氧化铝生产线;明确大气污染防治重点区域不再新增产能,并抬高能效环保门槛,引导行业转向质量效益。2025年9月,工业和信息化部等8部门联合发布《有色金属行业稳增长工作方案(2025—2026年)》,进一步明确了有色金属行业高质量发展方向。

## 3 技术经济评价方法的基本理论

### 3.1 技术经济评价的定义与重要性

技术经济评价是通过系统的分析方法,综合评估项目在技术可行性与经济效益方面的优劣,旨在为决策者提供科学依据。技术经济评价不仅是项目立项阶段的必要步骤,也是项目全生命周期中的关键环节。它能够揭示项目潜在的技术风险、经济风险以及环境影响,确保项目在技术、经济和社会效益方面的可持续性。通过技术经济评价,决策者可以明确项目的投资规模、资源配置、市场需求等要素,帮助实现资源的最优配置,提升项目的整体经济效益与社会价值。对于氧化铝项目来说,技术经济评价能够有效预测项目建设和运营过程中可能遇到的技术难题与经济瓶颈,进而提出优化建议<sup>[2]</sup>。

### 3.2 技术经济评价的关键指标与模型

技术经济评价的关键指标包括投资回报率、净现值、内部收益率、成本效益比等,这些财务指标能够直观反映项目的经济效益。技术可行性指标主要关注技术成熟度、生产工艺、设备可靠性、环境影响等因素,这些指标决定了项目的技术实施可行性。此外,项目的市场需求、原料供应、政策支持等外部因素也对项目的成败起着重要作用。在进行技

术经济评价时,常用的模型包括投资回收期模型、净现值法、内部收益率法、敏感性分析法等,这些模型能够帮助决策者深入分析项目的风险与回报,为项目的决策提供理性依据<sup>[3]</sup>。

## 4 氧化铝项目可行性研究中的技术评价

### 4.1 技术选型与工艺流程分析

氧化铝项目的技术选型是整个项目可行性研究的关键环节。选定合适的生产工艺不仅决定了项目的技术可行性,还影响项目的经济效益、生产效率和资源利用率。在氧化铝的生产中,拜耳法作为最常见的生产工艺,其主要流程包括铝土矿的破碎、磨矿、溶出、沉降和焙烧等步骤。拜耳法广泛应用于大规模的氧化铝生产中,因其技术成熟且具有较高的原料利用率,且其废物排放控制和环境污染相对较低。在选择技术时,项目方需要根据铝土矿的具体特性,如矿石品位、矿石结构等,来决定最合适的工艺流程。如果铝土矿中有大量的硅土杂质,那么使用改进型的拜耳法或湿法工艺可能更具优势。此外,工艺流程的优化也会影响设备的选择和投资规模。通过对生产过程中各个环节的优化,如提高矿石处理效率、减少能耗和废水排放,可以进一步降低生产成本,提高资源利用率。

### 4.2 技术成熟度与风险评估

技术成熟度是评估氧化铝项目技术可行性的核心指标之一。通常,成熟的技术能提供更为稳定的生产过程和较低的风险,因此,在技术选型阶段,项目方应优先选择经过广泛验证并应用于同类项目的成熟技术。拜耳法作为广泛应用的传统技术,其成熟度高、可靠性强,但在面对不同矿石资源或生产环境时,仍然可能面临一些技术瓶颈,尤其是在矿石品位较低或矿物成分较为复杂的情况下。为了降低技术实施风险,项目方需要对所选技术的生产稳定性、设备的故障率、技术人员操作熟练度等进行全面分析。在技术成熟度评估中,除了对技术方案的成熟程度进行验证外,还应对项目实施过程中可能出现的技术问题进行预判,评估其对项目进度和投资回报的潜在影响。例如,设备的升级与替代方案、生产过程中可能出现的技术瓶颈、以及技术创新引发的未知风险等,都需要在可行性研究阶段进行详细的分析与准备。

### 4.3 技术可行性与经济性匹配分析

氧化铝项目的技术可行性与经济性之间的匹配分析,对于项目的成功实施和长远发展至关重要。在技术可行性分析中,首先要评估所选技术是否能满足生产的基本要求,如氧化铝的产量、质量标准、生产效率等。技术的可行性不仅是技术方案是否成熟、可靠,还应考虑能否在实际应用中达到理想的经济效益。若某项技术能够显著提高生产效率或降低能耗,但所需的初期投资过高,可能会影响项目的整体盈利水平。在经济性分析方面,需要对项目的投资回收期、净现值(NPV)、内部收益率(IRR)等财务指标进行详细分析。如果技术选型与经济性不匹配,即使技术本身可行,项

目也可能面临资金压力,影响项目的顺利推进。因此,技术经济匹配分析的目标是通过平衡技术方案的先进性与经济性之间的关系,确保所选技术不仅满足生产需求,而且能在较短时间内带来良好的财务回报。在这一过程中,还需对技术的长期运营成本、维护费用、环境适应性等进行深入评估,确保技术在长期运行中能够持续发挥其经济效益<sup>[4]</sup>。

## 5 氧化铝项目的经济评价方法

### 5.1 投资预算与资金筹措方案

氧化铝项目的投资预算通常包括固定资产投资、流动资金需求以及建设过程中的各项支出。固定资产投资主要涵盖厂房、生产设备、原料储备设施等建设投入,流动资金需求则包括日常运营中的原料采购、运输、人工费用等支出。在进行投资预算时,项目方需要根据生产规模、技术选型和工艺流程等因素,确定合理的投资总额。预算编制时,应考虑到潜在的市场波动、原材料价格变化等因素,确保预算的科学性和准确性。同时,氧化铝项目的资金筹措方案需根据项目规模、建设周期和资本结构等因素,选择合适的资金来源。常见的资金筹措方式包括自有资金、银行贷款、融资租赁、股东投资等。在资金筹措过程中,项目方需要综合考虑资金成本、偿还周期、利率等因素,确保资金的稳定流动,并防止因资金问题导致项目停滞。此外,资金使用应根据项目建设进度和资金需求进行合理安排,确保资金能够及时到位并高效使用。

### 5.2 经济效益分析与财务评价

经济效益分析是氧化铝项目可行性研究中的重要环节,旨在通过对项目的财务数据进行全面分析,评估其经济回报和投资风险。主要的经济效益指标包括净现值(NPV)、投资回收期(IRR)、财务内部收益率(FIRR)等,这些指标能够帮助投资者判断项目的盈利潜力。净现值(NPV)通过将未来的现金流折算到当前价值,来评估项目的财务可行性;投资回收期则反映了项目的资金回收速度。财务评价还需要考虑到市场价格波动、生产成本、税收政策等外部因素的影响,对项目的经济效益进行综合预测。此外,经济效益分析还应结合项目的市场需求、原料供应、产品销售等方面进行动态调整,以确保评估结果的准确性。在此过程中,敏感性分析是一项重要的工具,它能够帮助决策者识别影响项目经济效益的关键因素,并为风险管理提供依据。

### 5.3 项目盈利性分析与风险控制

项目的盈利性分析通过对销售收入、成本结构、资金回收等因素的综合评估,判断项目是否具备足够的盈利能力。盈利性分析包括项目的收入预测、成本预测、利润率分析等内容,主要目的是确保项目能够在运营过程中实现可观的经济回报。在盈利性分析过程中,需要对市场需求、产品定价、竞争态势等因素进行详细预测,确保收入的稳定性与增长潜力。风险控制则是确保项目能够在多变的经济和政策环境中顺利实施的重要手段。氧化铝项目面临的的风险包括市场价格波动、技术故障、环境政策变化等<sup>[5]</sup>。项目方可以通过制定详细的风险管理策略,如采取合适的定价机制、签订长期供应合同、建立灵活的生产调整机制等方式,减少外部风险对项目盈利性的影响。此外,建立风险预警机制,定期进行风险评估,能够及时发现潜在问题,采取相应的应对措施,从而保障项目的盈利性和长期稳定发展。

## 6 结语

通过对氧化铝项目可行性研究中技术经济评价的深入分析,本文揭示了技术选型、工艺流程、经济效益等因素在项目成功实施中的关键作用。在技术选型方面,合理的工艺流程和技术方案是确保项目顺利进行的基础;在经济评价方面,科学的投资预算、资金筹措方案及财务评估能有效保障项目的财务稳定性和回报潜力。技术与经济的紧密结合,能够使氧化铝项目实现技术可行性和经济效益的最优匹配,为投资者提供有力的决策依据。最终,全面的风险控制和敏感性分析有助于降低项目的不确定性,为其长期成功奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 罗斌.氧化铝项目环境影响评价工作探讨[J].应用能源技术,2025,(10):115-117.
- [2] 黄克金.SDDC法在建筑地基处理工程中的应用——以广西防城港氧化铝项目地基处理工程为例[J].房地产世界,2025,(19):134-136.
- [3] 梁婷,刘擎波,古智斤.岩基海岸氧化铝项目泊位布置研究[J].港口航道与近海工程,2025,62(02):5-9.
- [4] 南宁市首个氧化铝项目通过自治区节能审查批复[J].广西节能,2024,(04):12.
- [5] 贾晔.某氧化铝项目赤泥堆场排放及堆坝方式比选研究[J].有色矿冶,2023,39(03):58-61.

# Research on Automation and Intelligent Transformation Schemes for Distribution Networks

Jianfeng Shi

Beijing Huairou Power Supply Company, Beijing Electric Power Company, Beijing, 101400, China

## Abstract

The distribution network serves as the hub connecting power sources and users in the electric power system. Its operational stability and power supply reliability directly impact the quality of electric power service. The existing distribution network faces challenges such as aging equipment and simplistic control modes, which fail to meet the requirements of new power system construction and diversified user electricity consumption. By combining distribution automation technology and Internet of Things (IoT) technology to address the issues of low operational efficiency and slow fault handling in the distribution network, a systematic transformation plan system is established. This includes transformation demand analysis, key technology design, and implementation path planning. It breaks through the technical barriers and execution difficulties of traditional distribution network transformation, achieving automated control, intelligent dispatch, and refined maintenance of distribution network operations. This provides technical support and practical reference for the high-quality upgrading of the distribution network.

## Keywords

distribution network; automation transformation; intelligent upgrade

# 配电网自动化与智能化改造方案研究

史剑锋

北京市电力公司怀柔供电公司, 中国 · 北京 101400

## 摘要

配电网是电力系统中联系电源和用户的枢纽, 它的运行是否稳定、供电是否可靠, 直接影响到电力服务质量的好坏, 现有的配电网存在着设备老化、控制模式简单, 不能满足新型电力系统建设以及用户多样化用电的要求。以配电网运行效率低、故障处理慢, 把配电自动化技术和物联网技术结合起来, 创建起一套系统的改造方案体系, 包含改造需求分析、关键技术设计、实施路径规划, 冲破传统配电网改造的技术壁垒和执行难题, 达成配电网运行的自动化控制、智能化调度和精细化的维护, 给配电网高质量升级赋予技术支撑和实际参照。

## 关键词

配电网; 自动化改造; 智能化升级

## 1 引言

配电网担负着电力分配和终端供电的主要任务, 配电网技术状况及运行情况同电力系统整体效能以及用户体验有着直接联系。由于配电网的建设年代久远、技术投入不足等原因, 仍然沿用传统的运行和控制方式, 设备运行可靠度低, 故障发生之后需要依靠人工排查和处理, 造成停电时间过长, 不能满足现代社会对供电连续性严格的要求。新型电力系统背景之下, 分布式电源大量接入、电动汽车充电负荷急剧上升, 又使得配电网运行变得愈加繁杂且充满不确定因素, 传统的配电网技术不足和运行缺陷也更加明显。

## 2 改造需求与技术基础

### 2.1 配电网运行现状分析

现有的配电网运行现状存在着许多亟待解决的不足, 设备方面大多存在老化失修的情况, 部分终端设备缺少有效的状态监测手段, 容易造成绝缘性能下降、接触不良等状况, 从而增大了故障发生的几率。控制模式上仍然以人工操作为主, 缺少自动化控制和远程调控的能力, 运行参数的调整滞后于工况的变化, 造成配电网运行效率低、电能损耗大<sup>[1]</sup>。从信息交互的角度来说, 各个阶段的监测数据各自为政, 没有建立起一个信息共享平台, 使得数据传输存在明显的延迟现象, 无法做到对配电网运行状况实施即时的监测并作出准确的预测判断。故障处理环节缺少自动化的故障定位和隔离方式, 故障发生之后需要人工逐段排查, 不但会延长停电时间, 还会加大运维人员的工作负担, 而且容易因为排查不及

【作者简介】史剑锋 (1971—), 男, 中国北京人, 高级技师, 从事电气、电力研究。

时而造成连锁故障。

## 2.2 自动化改造核心目标

配电网自动化改造把提高运行可靠性、控制效率作为主要目的,集中于故障处理、运行调节、设备保养这三个方面。从故障处置的角度来讲,可以达到自动识别、精准定位、快速隔离的效果,缩减了停电的范围,提升了配电网自愈的能力,冲破了传统的依靠人工处置的滞后性困境。从运行调控角度出发,创建自动化调控体系,对配电网运行参数展开实时监测并实施动态调节,改善潮流分布状况,削减电能消耗,加强配电网运行的经济性和稳定性。从设备运维角度出发,对终端设备运行状况实施在线监测并发出故障警报,采用状态检修的办法来缩减无谓的检修开支和设备损耗,从而提升设备的使用寿命<sup>[2]</sup>。

## 2.3 智能化升级技术架构

配电网智能化升级技术架构采用分层架构设计,包含感知层、通信层、平台层和应用层,各个层次之间互相配合、相互影响,从而达到对配电网运行全过程进行智能化控制的目的。感知层是数据采集的核心,安装各种智能监测终端,包括馈线终端、智能开关、电能质量监测设备等,对配电网运行参数、设备状态、环境条件等各方面数据进行实时采集,数据采集精度直接影响智能化管控的效果,底层感知元件的选型要兼顾抗干扰能力和运行稳定性,防止由于环境干扰造成数据失真。通信层完成数据传输工作,搭建起高速、稳定的配电网物联网通信网络,使感知层的数据可以及时传送到平台层。

# 3 关键改造方案设计

## 3.1 馈线自动化终端布点优化

馈线自动化终端布点优化要联系配电网拓扑结构、负荷分布和故障发生规律,抛弃传统的均匀布点方式,达成终端布点的精确化和合理化。馈线主干线布点要覆盖负荷密集区和故障多发路段,保证可以迅速发现馈线运行状态异常,终端间距要根据馈线长度和负荷分布动态调整,防止布点过密造成成本浪费或者布点过疏造成故障定位精度不够<sup>[3]</sup>。分支线路的布点要集中在分支与主干线连接处以及负荷集中的地方,保证分支线路故障可以很快被识别并隔离,防止故障蔓延到主干线。终端选型要首先选择具有远程控制、状态监测和数据传输功能的智能终端,使它同配电网物联网通信网络相连接,保证终端数据可以及时传送到主站系统。

## 3.2 智能开关与保护协同配置

智能开关和保护协同配置是提高配电网故障处置能力的关键部分,智能开关的选择要依据配电网的电压等级以及运行状况,选择具有自动分合闸、故障检测、远程控制功能的设备,在发生故障的时候可以迅速做出反应,完成故障的隔离工作。保护装置的配置要和智能开关相配合,建立分级保护体系,根据故障类型及严重程度来准确地发出保护动

作信号,防止出现保护误动或者拒动的情况。接地保护和短路保护要一起配置,接地保护主要实现接地故障的快速定位和隔离,缩小故障范围,短路保护主要针对短路故障的快速切断,防止故障扩大造成设备损坏。保护参数的设定要依据配电网运行特点来开展动态调节,适应分布式电源接入所引发的潮流变动,保证保护装置在各种情况下都能维持稳定的性能。

## 3.3 配电网物联网通信组网方案

配电网物联网通信组网方案要兼顾覆盖范围、传输速率和可靠性,建立“主干网+接入网”两层通信结构,主干网使用光纤通信技术,实现主站系统同各个区域汇接点之间高速数据传输,支撑起海量监测数据的及时上传以及指令下达,光纤通信选型要考虑到传输距离和抗干扰性能,在复杂的电磁环境中也能保持稳定地传输。接入网采用无线通信技术和光纤通信技术相结合的方式,对偏远地区或者布线困难的路段使用无线通信技术,降低施工成本,对负荷密集区或者核心节点使用光纤通信技术,提高传输速率和可靠性。

## 3.4 主站系统数据分析平台

主站系统数据分析平台是配电网智能化管控的主要载体,要整合配电网全过程监测数据,创建一体化的数据管理及分析体系。数据整合层面,对感知层各种终端的数据、配电网运行参数、设备状态数据、故障记录数据等进行统一接入和存储,形成标准的数据格式,消除数据孤岛,保证数据的一致性、完整性。从数据分析的角度出发,创建起多维度的数据分析模型,从而达到对配电网运行状况的即时评判,开展故障预知以及负荷预估工作,借助数据挖掘来找出配电网运行中的薄弱之处,提前预见故障出现的风险,给运维决策给予数据支持。功能模块分为运行监测、故障诊断、负荷调度、运维管理等部分,可以对配电网运行全过程进行可视化控制,满足运维人员随时查看配电网运行情况,及时发现并处理故障和异常的要求。平台性能要满足海量数据处理的要求,改进数据处理算法,缩减数据响应时间,保证数据分析成果的及时性和精确性,而且具有较好的扩展性,能支撑后续功能更新和技术更替。

# 4 实施路径与保障措施

## 4.1 分阶段改造实施流程

配电网自动化和智能化改造采取分阶段推进的方式,防止因为急于求成而引发施工混乱、成本失控的情况发生,第一阶段以核心区域改造为主,首先集中力量对负荷密集、故障多发的城区配电网进行改造,主要工作是做好馈线自动化终端的布点、智能开关的安装以及通信网络的搭建,从而达到核心区域故障的自动处理和实时监控,提升核心区域供电可靠性。第二阶段推进全域覆盖改造,把改造范围扩大到郊区和偏远地区,完成剩余配电网终端设备的升级、通信网络的扩展和主站系统的优化,实现配电网自动化、智能化全

覆盖，建立统一的管控体系。第三阶段为优化提升阶段，根据前期改造中出现的问题，对终端布点、通信组网、数据分析模型等进行优化完善，强化智能化应用的功能，提高配电网运行效率和管控精度。每一个阶段结束之后要进行验收工作，主要检验改造的质量和功能是否达到要求，验收合格后才能进入下一个阶段，保证改造工作的顺利进行。

#### 4.2 设备选型与兼容性测试

设备选型要遵循“技术成熟、性能可靠、适应性强、成本经济”的准则，选择那些经过实践检验、符合行业标准的设备，防止选用技术落后或者不能够互相配合的产品，保证设备运行稳定和使用寿命。智能终端、智能开关、通信设备等主要设备的选型要根据配电网改造的要求和运行情况来确定，明确设备的性能参数和技术指标，保证所选设备可以满足配电网通信网络和主站系统的要求。兼容性测试属于设备选型及安装之后的重要部分，主要针对不同厂家设备之间互联互通的情况加以测试，对终端设备同主站系统以及通信网络之间的数据传输是否兼容进行验证，防止出现由于兼容性问题而使设备无法正常工作的情形发生。测试时要模拟不同的运行工况，检测设备在极端情况下性能表现，找出设备存在的隐患和缺陷，对测试不合格的设备进行更换或者优化，保证改造后的设备可以稳定、可靠地运行。

#### 4.3 运维人员技能培训体系

运维人员技能水平直接影响到改造后的配电网运维质量及管控效果，要建立完善的技能培训体系，提高运维人员的技术能力和操作水平。培训内容包含自动化设备操作、通信网络维护、主站系统应用、故障诊断与处理等内容，按照改造方案及设备特点来制定有针对性的培训计划，避免培训内容脱离实际需求。培训方式以理论教学和实操训练相结合的方式进行，理论教学主要讲授改造技术原理、设备性能参数及运维规范，实操训练主要针对设备操作、故障排查等实际技能展开，提高运维人员的实操水平。创建常态化的培训体系，定时举行技能考核及交流活动，检验培训成果，对考核不及格的人员展开专门培训，保证每一个运维人员都可娴熟地掌握有关技能。

#### 4.4 改造成本与效益测算

改造成本测算要包含设备购置费、施工安装费、技术调试费、人员培训费等全部相关费用，建立完善的成本核算体系，确定各个成本项目的构成及标准，防止由于成本核算不全面造成预算超支。设备采购成本要依据设备选型方案，计算核心设备和辅助设备的采购费用，优先选择性价比高的设备，控制采购成本；施工安装成本要按照改造范围和施工难度来核算施工人员、施工材料、施工机械等有关费用；技术调试成本要核算调试人员、调试设备、调试耗材等费用；人员培训成本要核算培训师资、培训材料、培训场地等费用。效益测算要以长期运行效益为重点，包括电能损耗下降、故障处理费用削减、运维效率改善、供电可靠性提高等各个方面，用改造前后运行数据对比分析来确定改造的直接效益和间接效益，进而得出改造项目经济价值和社会价值。成本和效益测算要遵循客观、准确的原则，给改造项目决策和推进赋予科学支撑，保证改造项目在控制成本的基础上达成效益最大化。

### 5 结语

配电网自动化和智能化改造是促进配电网高质量发展的关键措施，也是适应新型电力系统建设的重要途径，它依靠技术更新和模式变革来克服目前配电网运行的不足，从而达成配电网运行的自动化、智能化以及精细化管理。关键改造方案的设计要结合配电网运行状况和改造要求，改善馈线自动化终端布置、智能开关和保护协同安排、配电网通信组网以及主站系统数据分析平台，创建起科学合理的改造体系。

#### 参考文献

- [1] 张晓芳. 电力工程中的智能配电网与照明控制系统的融合研究[J]. 中国照明电器, 2025, (10): 151-153.
- [2] 商哲. 新型电力系统赋能配电网数字化转型的有效策略[J]. 电气技术与经济, 2025, (10): 302-305.
- [3] 安冬,安震,郑思慧. 人工智能在电力配电网工程安全管理中的应用[J]. 电子技术, 2025, 54 (10): 288-289.

# Research on Optimizing Standardized Operation Procedures for Meter Installation and Power Connection in the Context of Smart Grid

Jian Wang

Beijing Huashang Electric Lamp Co., Ltd., Beijing, 101400, China

## Abstract

In electric power engineering construction projects, meter installation and power connection work is a crucial aspect. It plays an irreplaceable role in ensuring that power companies can safely and stably provide electric power resources to users. Additionally, it serves the purpose of monitoring users' electricity consumption levels and calculating electricity consumption, which is related to the interests of every electricity user. With the in-depth advancement of smart grid construction, the traditional meter installation and power connection workflow has become difficult to adapt to the development needs of intelligence and precision. There are issues such as non-standardized processes, low efficiency, and insufficient technology application. This article combines the development characteristics of smart grids, analyzes the current status and problems of standardized meter installation and power connection operations, proposes full-process optimization strategies and technology empowerment paths, and verifies the feasibility of optimization through typical cases, aiming to improve the quality and efficiency of meter installation and power connection operations.

## Keywords

smart grid; meter installation and power connection; standardized operation; process optimization; technology empowerment

## 智能电网背景下装表接电规范化作业流程优化研究

王建

北京华商电灯有限公司, 中国·北京 101400

## 摘要

在电力工程施工项目中,装表接电工作是非常重要的一个环节,对于保障电力公司能够安全稳定地为用户提供电力资源具有不可替代的作用,同时也起着监测用户用电水平、计算电能消耗量的作用,关系到每一个用电者的利益。随着智能电网建设的深入推进,传统装表接电作业流程已难以适配智能化、精准化的发展需求,存在流程不规范、效率偏低、技术应用不足等问题。本文结合智能电网发展特征,分析装表接电规范化作业的现状与问题,提出全流程优化策略与技术赋能路径,结合典型案例验证优化可行性,旨在提升装表接电作业质量与效率。

## 关键词

智能电网;装表接电;规范化作业;流程优化;技术赋能

## 1 引言

伴随中国电力体制改革不断深入与智能电网建设全面开展,电力系统正向着智能化、信息化、自动化方向发展,装表接电作为电力供应与用户需求衔接的关键环节,其作业规范程度直接对电网运行的稳定性、计量的准确性和用户用电体验造成影响。装表接电不仅是电力工程的收尾工序,更是电力营销、计量管理的重要基础,作业质量直接影响电力企业服务形象和经济效益,也与广大用电用户的切身利益密切相关。当前,智能电表、物联网等新技术的广泛应用,

给装表接电作业带来了新的发展前景,但同时也对作业流程做到规范、达到标准提出了更高要求。因此,在智能电网背景下,深入研究装表接电规范化作业流程的优化路径,解决现存问题,有助于推动电力行业高质量发展、提升供电服务质量。

## 2 智能电网背景下装表接电规范化作业流程现状及问题分析

### 2.1 智能电网背景下装表接电作业的发展现状

随着智能电网建设按常态化推进,装表接电作业已慢慢实现智能化、标准化转型过程,整体发展形势持续向好。目前,智能电表已整体替代传统机械电表,做到用电数据的即时收集及远程输送,极大地提升了计量精准度以及数据处

【作者简介】王建(1979—),男,中国北京人,本科,技师,从事装表接电高级技师研究。

理效率。电力企业普遍引进移动作业终端、自动化调试设备等智能化工具，做到装表接电单线上的流转、现场操作实时记录、物料扫码取用，简化了以往传统人工烦琐流程。国家及地方先后颁布相关作业规范及技术标准，界定装表接电操作方面的要求与质量标准，给作业开展提供了确切的依据。同时，企业着重开展作业人员专业培训，重点提升智能设备操作、标准化流程执行能力，促使装表接电作业与智能电网发展深度适应，作业响应的速度以及服务规范性较以往显著提升<sup>[1]</sup>。

## 2.2 装表接电规范化作业流程现存主要问题

装表接电规范化作业流程还存在诸多的短板情况，对作业质量与效率的提升起到制约作用。一是流程标准不统一，不同区域、不同施工队伍的操作流程有不一样之处，部分环节步骤凌乱、衔接障碍，甚至造成关键环节遗漏，导致作业在规范上不足。二是现场操作没有遵循规范，有些作业人员存在接线错误、设备安装不符合要求等问题，对计量的准确程度有影响，极易造成电网运行的安全隐患。三是线上线下载衔接上不顺畅，线上申请的流程便捷，但线下的勘察、装表、调试等环节落地进度慢，一些地区有装表接电不及时的情况。四是质量管控与资料归档不规范，缺乏全流程可追溯的模式，作业资料归档没有及时且完整归档，后续核查及追溯的难度比较大，难以保障规范化要求落地实施。

## 2.3 问题产生的成因分析

上述问题的产生，主要来自制度、人员、技术、管理四个核心。制度层面，目前作业规范体系在完善性上不足，部分标准更新不及时，很难适配智能电网背景下的作业所需，同时各地执行的标准有出入，没有统一的管控依据。人员层面，作业人员专业素养参差不齐，部分人员未开展系统培训学习，对智能设备的操作以及规范化流程掌握欠佳，责任意识较不足，违规操作的情况时有发生。技术层面，智能化技术与作业流程的融合不够深入，部分先进设备和技术没有充分发挥作用，技术保障的能力不够强<sup>[2]</sup>。管理层面，管控机制不健全，质量监督的落实不到位，缺少有效的考核激励措施，且各环节权责划分不明确，资源分布不合理，造成规范化流程不能有效落地运作。

# 3 全流程规范化优化策略

## 3.1 前期准备环节优化

前期准备对装表接电规范化作业而言是基础，直接影响后续作业的质量与效率，需从勘察、方案、物料三方面全面优化。勘察环节，界定勘察人员的资质及职责，规范勘察内容，着重核查现场用电负荷、接线条件、设备安装位置等重要信息，借助智能勘察设备做到数据实时采集、准确录入，避免人工记录所产生的误差，同时形成标准化的勘察报告，为后续方案制定提供可信依据。方案制定环节，利用智能系统搭建标准化方案模板，根据用户用电需求以及现场勘察结

果，实现供电、计量方案自动化生成，确定装表型号、接线样式、施工规范等核心内容，建立多级审批流程，减少审批所花时间，保障方案科学合规。物料管理环节，确立统一的工具、材料规格规范，开展数字化物料管理系统的建设，做到物料采购、领用、库存的全程监管，扫码取用、按需安排，防止物料浪费以及规格不相符问题，为现场作业顺利开展提供保障<sup>[3]</sup>。

## 3.2 现场作业环节优化

现场作业是装表接电实现规范化的核心环节，要聚焦操作规范、安全管控、效率提升三大重点优化。操作规范方面，起草标准化作业手册，确定装表、接线、调试的具体环节、技术参数和质量相关要求，要求作业人员严格按手册的要求操作，杜绝接线失误、设备安装不到位等问题，同时推行“两人作业、相互监督”模式，确保操作流程符合要求、操作动作符合标准。安全管控方面，切实强化现场安全措施落实，作业前开展安全交底，明确安全风险点以及防控手段，作业人员一定要穿戴齐全安全防护用具，开展智能安全防护设备的推广，实时对作业环境的安全予以监测，及时预警安全隐患，防止人身和设备安全事故发生。效率提升方面，依靠移动作业终端做到工单实时更新、操作全程记录，减少人工纸质记录工作量，同时合理调配作业人员，明确各岗位的职责内容，就复杂作业场景而言，预先做好应急方案的制定，保障现场作业高效开展、规范予以落实<sup>[4]</sup>。

## 3.3 后期验收与归档环节优化

后期验收及归档属于装表接电规范化作业的收尾环节，要借助标准化管理保证作业形成闭环。验收环节，建立多维度验收相关标准，确定好验收内容、流程以及责任，开展“自检、互检、专检”相结合的验收举措，主要核查电表安装的规范程度、接线的准确情况、计量的精准水平等核心指标，借助自动化检测设备提高验收效率和精准程度，验收合格后及时与用户确认，签署验收最终报告，对于验收不合格的立即整改，直至达标。归档环节，开展电子归档管理，把勘察报告、方案审批材料、现场操作记录、验收报告等所有的作业资料，通过数字化系统整理归档，确定好归档的时间和标准，保证资料齐全规范、可追溯，同时建立资料检索机制，便于后续检查和管理。此外，对与用户沟通的环节进行优化，验收后及时向用户告知电表使用注意事项、计量方式等相关信息，减少计量争议，让用户的满意度提高，实现装表接电作业整个流程规范化闭环管理。

# 4 技术赋能优化路径

## 4.1 物联网与移动互联技术应用

物联网与移动互联技术是助力装表接电作业智能化、规范化的核心力量，能做到作业全流程的精准控制和效率提升。依托物联网技术，在智能电表、计量箱等设备加装物联网传感器，做到对设备运行状态和用电数据的实时采集与远

程督察,及时找出设备的异常之处,预先对隐患进行排查,减少现场巡检工作量。搭建集中式的物联网管理平台,集成各类设备的数据,实现数据共享以及协同调度,为装表接电业务给予数据助力。结合移动互联技术,开展移动作业终端的推广,做到工单接收、现场操作、数据上报、流程审批全走线上流程,破除时间和空间的限制,避免人工传递单据的烦琐流程。作业人员可利用终端即时获取用户信息、勘察报告、作业规范,现场填写操作数据,让作业流程能够被追溯,有力提高作业规范性和响应能力,助力装表接电作业与智能电网协同发展。

#### 4.2 人工智能与大数据技术应用

人工智能和大数据技术可达成装表接电作业的智能化决策及精准管控,解决传统作业中的痛点和难点问题。借助人工智能技术,创建接线错误智能识别系统,凭借图像识别算法对现场接线照片进行分析,迅速发现接线错误、设备安装不当等情况,及时通知作业人员做整改,降低人工操作失误率。同时,借助人工智能实现供电方案、装表方案的智能生成,对接用户用电需求和现场实际,对方案设计加以优化,缩减方案制定的时长。借助大数据技术,挖掘装表接电作业历史数据、用户用电数据、设备的运行相关数据,挖掘作业规律和故障模式,精准预判作业风险,为流程优化、资源调配给予数据支撑。通过大数据分析优化作业排班工作,合理安排人力和物力,使作业响应速度加快,同时搭建故障预警系统,做到隐患提前预防,保证作业安全以及质量。

#### 4.3 AR/VR 技术应用

AR/VR 技术可切实提升装表接电作业人员操作能力与作业的规范性,减少作业难度和安全风险。利用 AR 增强现实技术,为作业人员供应可视化操作指引,通过移动终端把作业步骤、接线标准、安全警示等信息叠加到现场场景中,引导作业人员做到规范操作,尤其适用于复杂的接线场景,减少操作失误。AR 技术可开展远程协同的指导工作,有经验的技术人员经远程连线,实时知晓现场作业情况,对一线人员进行精准指导,解决现场技术难题。借助 VR 虚拟现实技术,搭建模拟作业场景,开展经常性培训,使作业人员在虚拟环境中练习智能设备操作、应急处置方面的技能,熟悉作业规范,提升动手操作能力和应急处置能力,减少现场作业所存在的安全隐患,带动装表接电作业规范化、标准化

落地。

## 5 典型案例分析

选取某市级供电公司作为案例,该公司在智能电网建设工作中,针对装表接电作业流程不规范、效率不高等问题,结合前文优化策略与技术赋能路径,开展规范化作业流程优化实践。优化前,该公司有着流程标准不同、现场操作失误率高、线上线下衔接不畅等问题,装表接电平均时长较长,用户投诉率较高。优化过程中,该公司将前期勘察、现场作业、验收归档全流程加以规范,开展标准化作业手册;引入物联网、移动互联技术,做到工单线上流转以及设备实时监控;利用 AI 接线识别系统,降低操作失误率;借助 AR 技术为现场作业做可视化引导。优化后,该公司装表接电平均所耗时长缩短 30%,接线合格率提高到 99.8%,用户投诉率大幅降低,作业规范水平显著提升,验证了全流程优化策略与技术赋能路径的可行性与实用性,为同类电力企业提供了可借鉴的实践经验。

## 6 结语

综上所述,智能电网背景下,装表接电规范化作业流程优化是适配电力行业转型、提高供电服务质量的必然要求。本文对装表接电作业现有的状态与问题加以分析,提出全流程优化策略以及技术赋能路径,结合典型案例印证了优化方案的可行性。规范装表接电作业流程、加大技术投入,可切实提高作业的效率和质量,减少安全相关的隐患,保障电网正常运行和用户合法权益,今后要结合新技术的进步,不断改进完善方案,带动装表接电作业往更智能化、标准化、高效化的方向发展,给智能电网建设提供有力保障。

### 参考文献

- [1] 弓静.装表接电过程中电力设备故障诊断系统设计研究[J].家电维修,2025,(11):125-127.
- [2] 田文文,宋强.智能电网中的智能电表装表接电技术探析[J].电力设备管理,2025,(20):292-294.
- [3] 张诗源.智能电网装表接电故障自动诊断技术[J].电工技术,2025,(18):118-119+124.
- [4] 熊华波,廖英杰.电力营销中智能电网现场装表接电技术研究[J].电力设备管理,2025,(17):138-140.

# Industrial Process Modeling and Computer Parallel Simulation Optimization Based on Digital Twins

Tao Song Dingyuan Mo

College of Mathematical and Statistical Sciences, Baise University, Baise, Guangxi, 533099, China

## Abstract

As a core technological carrier connecting physical entities and virtual models, digital twin technology provides powerful technical support for industrial process modeling with the characteristics of virtual-real mapping, real-time interaction, and dynamic iteration. Applying this technology to industrial process modeling not only eliminates the drawbacks of traditional modeling methods but also significantly enhances the accuracy of model construction, thereby providing a strong decision-making and reference basis for the deep optimization of industrial processes. Based on this, this paper will systematically elaborate on the key modeling technologies of integrating industrial multi-source data and data fusion governance, constructing simulation models based on virtual-real collaboration, and iterative optimization of the model throughout its lifecycle. It proposes specific implementation paths for building a technical system architecture, improving simulation linkage mechanisms, and deep optimization of industrial processes, aiming to provide theoretical references and insights for enhancing the quality and efficiency of industrial production processes and improving the level of intelligent manufacturing.

## Keywords

digital twin; industrial process modeling; computer; parallel simulation; optimization strategy

# 基于数字孪生的工业过程建模与计算机并行仿真优化

宋涛 莫定源

百色学院数理科学与统计学院, 中国 · 广西 百色 533099

## 摘要

数字孪生技术作为连接物理实体与虚拟模型的核心技术载体,以虚实映射、实时交互、动态迭代的特点,为工业过程建模提供了强大的技术支持。应用该技术进行工业过程建模,即可以摒弃传统建模方式的弊端,也能够大幅提升模型构建精准度,继而为工业流程的深度优化提供了有力的决策与参考依据。基于此,本文将基于数字孪生视角,系统阐述整合工业多源数据与数据融合治理、基于虚实协同构建仿真模型、模型全生命周期迭代优化的关键建模技术,提出技术体系架构搭建、仿真联动机制完善、工业流程深度优化的具体实施路径,旨在为工业生产流程的提质增效与智能制造水平的提升提供理论借鉴与参考。

## 关键词

数字孪生; 工业过程建模; 计算机; 并行仿真; 优化策略

## 1 引言

过去,传统工业过程建模方式多依赖于单一的数据源、静态参数设定与离线仿真模式,导致数据无法实时互通、模型适配性差、迭代更新滞后,无法精准反映工业生产过程的动态变化规律,也难以满足复杂工业流程多变量、实时性优化的实际需求。而数字孪生技术的介入则打破了这一壁垒,依托于该技术,通过构建与物理工业实体完全对应的虚拟数字化模型,实现了生产设备、工艺流程、物料流转、环境参数等全要素的动态可视化呈现,进而为工业生产的精

准管控奠定坚实基础。而计算机并行仿真优化技术则通过对复杂工业模型进行并行分解、分布式计算,有效解决传统串行仿真计算速度慢、效率低、无法适配大规模复杂模型的问题,二者协同作用对工业生产过程的精准优化与智能转型创造了有利条件。

## 2 数字孪生在工业过程建模中体现的优势

### 2.1 打破传统建模边界

传统的工业过程建模多围绕单一生产工序、独立设备单元或局部生产环节开展建模工作,不同工序、不同设备、不同部门之间的建模体系相互独立,无法实现全生产链条的一体化建模。这种建模模式,使得工业生产过程中的设备运行数据、工艺参数数据、物料流转数据、环境监测数据无法

【作者简介】宋涛(1971—),男,中国河北高阳县人,博士,高级工程师,从事数据科学研究。

互通融合,建模结果仅能反映局部生产状态,无法覆盖工业生产全流程的关联关系。而基于数字孪生技术采取的建模方式,能够打通工业生产中设备层、控制层、运营层、管理层的数据流通通道,消除不同生产环节、不同工艺单元、不同信息系统之间的建模隔阂,将原材料采购、生产加工、装配检测、仓储物流、能耗管控等全流程环节纳入统一建模体系,构建起覆盖工业生产全流程的一体化建模框架<sup>[1]</sup>。

## 2.2 构建全流程动态映射

借助于数字孪生技术可以构建工业生产全流程的动态虚拟映射模型,通过在工业生产现场部署传感器、智能仪表、物联网终端等数据采集设备,实时采集设备运行转速、温度、压力、流量、能耗等全维度参数,依托5G、工业以太网等高速通信技术,将现场实时数据同步传输至虚拟空间,驱动虚拟模型按照物理实体的运行状态做出实时动态更新。这种全流程动态映射方式涵盖了工业生产几何特征、物理属性、工艺逻辑、运行规律的全要素,覆盖从原料投入、中间加工、成品输出到设备运维、能耗管控的全生产流程。无论是设备启停、工艺参数微调,还是物料流转速度变化、生产工况波动,虚拟模型都能做到毫秒级同步响应,完整还原生产过程的动态变化轨迹。

## 2.3 提升模型构建精准度

利用数字孪生技术能够整合多源异构数据融合治理技术,对生产现场的结构化数据、非结构化数据、实时流数据进行标准化清洗、降噪处理,剔除无效数据、冗余数据与误差数据,保障建模数据源的真实性、完整性与时效性。依托于机器学习、深度学习等人工智能算法,对海量生产数据进行深度挖掘与分析,精准提取工业生产过程中的运行规律,以此替代传统经验式建模,使模型可以清晰地反映真实的生产数据。与此同时,数字孪生模型能够自适应生产工况变化,有效应对设备老化、工艺升级、环境扰动等因素对模型精准度的影响,长期保持模型与实际生产过程的高度契合,进而为工业生产的精准仿真、故障诊断、能耗优化、质量管控提供高精度的模型支撑。

# 3 基于数字孪生的工业过程建模技术

## 3.1 整合工业多源数据,实施数据融合治理

工业生产过程将产生海量数据,这些数据主要来自于设备运行、物料流转、环境监测、质量检测等多个环节,来源不同,数据的存储格式、采集频率、传输协议也存在明显差异,以至于出现一些冗余数据,如果不及时予以处理,将直接影响数字孪生模型的构建质量与运行效果。而基于数字孪生技术的工业过程建模方式,通过建立统一的数据标准与治理规范,对零散、杂乱的原始工业数据进行规范化处理,这就为后续模型构建提供真实、完整、高质量的数据支撑。比如某煤化工企业生产现场涉及合成塔、压缩机、换热设备等数百套装置,数据来源涵盖DCS控制系统、PLC现场

终端、智能传感器、质检化验系统、能源管理系统等,数据类型包含实时时序数据、离线报表数据、图像监测数据等十余种。企业通过部署数字孪生数据治理平台,统一数据采集接口与传输协议,对全流程生产数据进行集中归集,彻底解决了不同系统数据无法互通、格式不统一的难题<sup>[2]</sup>。因此,在数据融合治理阶段,企业应当运用大数据处理技术完成数据清洗、降噪、融合、标注全流程操作,先通过异常值检测、缺失值填补算法剔除无效数据与误差数据,再依托数据映射与关联技术,建立不同数据源之间的对应关系,实现跨设备、跨工序数据的有机融合,以此来提升工业过程建模精度。

## 3.2 基于虚实协同原理,精准构建仿真模型

工业过程建模需要全面采集物理实体的三维几何尺寸、材料特性、运行参数、约束条件等信息,并结合工业机理模型与数据驱动模型,搭建与物理实体完全对应的虚拟仿真模型,以达到虚实同频的效果。比如某高端装备制造企业,建模时,首先通过三维激光扫描技术,采集加工设备、工装夹具、零部件的几何结构数据,再结合航空零部件加工的工艺机理,将切削参数、转速、进给量、温度等物理参数嵌入虚拟模型,构建出与物理加工现场完全一致的虚拟仿真场景。该模型可实时同步物理加工设备的运行状态,精准还原零部件从毛坯加工到成品检测的全流程,实现加工过程的虚拟可视化仿真。建模过程中,为了确保工业机理的严谨性与数据驱动的灵活性,一方面需要融合机械动力学、材料力学、化工反应原理等专业机理,保障模型符合工业生产客观规律。另一方面应当依托人工智能算法,挖掘生产数据中的潜在关联,弥补纯机理建模的局限性。并对接后续计算机并行仿真系统,支持多场景、多工况的仿真运算,为工业生产过程的模拟推演、风险预判、工艺优化提供高精度载体。

## 3.3 针对模型全生命周期,持续实施迭代优化

基于数字孪生技术衔接的工业过程模型,涉及模型构建、部署运行、监测校验、优化升级、退役更新等多个阶段。随着工业生产设备老化、工艺升级、工况调整、生产需求变化,初始构建的模型会逐渐与物理实体产生偏差,如果不及及时优化,模型精准度与实用性会持续下降,为此,需要针对模型全生命周期采取迭代优化策略。以某汽车整车制造企业的焊装车间数字孪生模型为例,该模型初始搭建时适配传统燃油车车身焊装工艺,随着企业新能源汽车产能提升,焊装工艺、设备参数、生产节拍均发生大幅调整。企业通过建立模型实时监测机制,持续对比虚拟模型与物理焊装生产线的运行偏差,定期采集新工艺数据、设备运行新参数,对模型的工艺逻辑、仿真算法、运行参数进行针对性迭代更新,使模型始终贴合新能源车身焊装生产实际。这种持续实施迭代优化的方法,能够确保数字孪生模型始终保持高精度、高适配性,并长期适配工业生产动态变化需求,这就给企业的长期高质量发展注了源源不断的驱动力<sup>[3]</sup>。

## 4 基于数字孪生的工业过程建模与计算机并行仿真优化路径

### 4.1 技术体系架构思路

基于数字孪生的工业过程建模与计算机并行仿真优化,首先应当严格遵循“虚实同源、分层协同、算力支撑、数据驱动”的原则,构建一个涵盖物理层、数据层、模型层、仿真层、应用层的一体化架构体系。物理层主要是依托工业物联网传感器、智能设备、数控装备等硬件设施,全面采集工业生产过程中的设备运行参数、工艺指标、环境数据、物料状态等全维度信息,为数字孪生模型提供原始数据支撑。数据层负责对多源异构数据进行清洗、融合、标准化处理,搭建实时数据传输通道与分布式数据存储平台,解决工业数据体量庞大、类型繁杂、时效性要求高的问题。模型层聚焦工业过程精准建模,整合机理建模、数据建模、混合建模三种方式,构建与物理实体完全映射的数字孪生体。仿真层依托计算机并行算力,实现多场景、多参数的并行仿真运算。而应用层则将仿真结果转化为实际生产的优化指令,实现闭环管控。这种架构思路,可以根据企业生产规模扩大、工艺升级、新增设备等需求,灵活增加模型模块、仿真节点与数据采集端口,适配工业生产的动态变化,实现技术体系架构从基础搭建向智能化、高效化的转型升级。

### 4.2 健全仿真联动机制

建立和完善仿真联动机制的目的是保障物理实体实时映射、数字仿真动态反馈、优化指令即时执行的多方联动,首先,依托5G、工业以太网等高速通信技术,确保物理工业现场的生产数据能够毫秒级传输至数字孪生模型,让数字孪生体始终保持与物理实体的同步状态,避免因数据延迟导致仿真模型失真。其次,构建仿真结果与生产现场的指令联动机制,将计算机并行仿真得出的优化方案、风险预警、参数调整建议等结果,自动转化为可执行的工业设备控制指令,通过控制系统直接下发至生产终端,实现仿真优化与生产执行的无缝衔接。并通过反馈修正联动机制的进一步完善,收集物理现场执行优化指令后的实际生产数据,反向输入数字孪生模型与仿真系统,对模型参数、仿真算法予以动态修正。

### 4.3 深度优化工业流程

企业需要通过对工业生产全流程进行数字化复刻、多场景仿真验证、全维度指标分析,实现生产工艺、设备运维、资源配置、能耗管控等环节的精细化、智能化优化,以提升工业生产的效率、质量与效益。依托于数字孪生建模能够还原工业生产的全流程逻辑,结合计算机并行仿真的高速运算能力,可以同时生产流程中的多个环节、多种变量进行并行仿真,模拟不同优化方案下的生产效果,快速筛选出最优方案。而针对工业流程采取深度优化策略时,应当始终以降本增效、节能减排、提升质量为核心目标,对工业生产的设计、生产、运维、管理全生命周期进行全方位优化。针对企业的技术人员与数字化运维人员,需要进一步提升数字孪生与并行仿真技术的实际应用能力,让优化方案能够精准落地执行,推动工业流程深度优化从技术层面转化为实际的生产效益,进而为企业的高效长远发展奠定坚实而稳固的基础。

## 5 结语

综上,为加快推进工业生产管控由经验驱动向数据驱动的转型进程,企业应当充分发挥数字孪生技术及计算机仿真技术的应用优势,打造一条数字孪生与计算机并行仿真融合赋能工业智能化升级的有效路径,实现物理世界与数字空间的深度映射与闭环交互,并借助于计算机并行仿真技术,为高速决策与多方案比选提供强大的算力支撑。随着物联网、人工智能、大数据等数字技术的持续迭代,企业需要始终秉持“与时俱进”的态度,持续深化虚实融合、健全动态反馈、夯实数据底座,以实现工业生产全要素、全流程效率与质量的同步提升。

### 参考文献

- [1] 陈超,聂文雪,李旭,等.数字孪生中的建模与仿真研究应用现状[J].计算机与数字工程,2025,53(11):3270-3275.
- [2] 张拓.数字孪生技术在工业自动化生产线中的应用研究[J].造纸装备及材料,2025,54(09):70-72.
- [3] 李红曼,吴祥蔚,艾晶.数字孪生技术研究及行业应用综述:新型工业化时代的核心使能技术[J].科技与金融,2025,(04):3-19.

# Research on the Application of Industrial Robots and Electrical Automation in Intelligent Manufacturing

Jinxing Wang Xueqing Shi

Ningbo Iron and Steel Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315807, China

## Abstract

In the context of the rapid development of intelligent manufacturing, the deep integration of industrial robots and electrical automation has become the key path to promote the transformation and upgrading of the manufacturing industry. This paper focuses on the application practice of the integration of the two in intelligent manufacturing, elaborating on the specific scenarios and operation modes of the integration application from the three core aspects of production processing, assembly and inspection, and logistics and warehousing. It analyzes the technical, procedural, and personnel-level bottlenecks existing in the current integration process and proposes targeted implementation strategies such as technological research and development, process optimization, and talent cultivation to achieve the collaborative efforts of the two, promoting the efficient, precise, and intelligent transformation of production, providing theoretical and practical support for the technological upgrading in the field of intelligent manufacturing, and helping the manufacturing industry achieve high-quality development.

## Keywords

Industrial robots; Electrical automation; Intelligent manufacturing

# 工业机器人与电气自动化融合在智能制造中的应用研究

王金星 施雪清

宁波钢铁有限公司, 中国·浙江 宁波 315807

## 摘要

在智能制造快速发展的背景下, 机器人与电气自动化的深度融合成为推动制造业转型升级的关键路径。本文聚焦二者融合在智能制造中的应用实践, 从生产加工、装配检测、物流仓储三个核心环节, 阐述融合应用的具体场景与操作模式, 分析当前融合过程中存在的技术、程序、人员层面瓶颈, 并针对性提出技术研发、流程优化、人才培养等实施策略, 实现二者协同发力, 推动生产高效化、精准化、智能化转型, 为智能制造领域的技术升级提供理论与实践支撑, 助力制造业高质量发展。

## 关键词

工业机器人; 电气自动化; 智能制造

## 1 引言

随着智能制造产业的不断升级, 传统生产模式已难以满足规模化、精准化、柔性化的生产需求, 机器人与电气自动化的融合应用成为必然趋势。当前, 二者融合虽已在多个领域落地, 但仍面临核心技术瓶颈、流程不规范、专业人才短缺等问题, 制约了融合应用的深度与效果。基于此, 本文围绕二者融合在智能制造中的具体应用实践展开研究, 探索科学的融合模式与实施策略, 破解应用难题, 推动融合技术落地, 为提升智能制造水平、推动制造业转型升级提供有力支撑。

## 2 工业机器人与电气自动化融合在智能制造中的应用实践

### 2.1 生产加工环节

生产加工环节是智能制造的核心载体, 也是机器人与电气自动化融合应用最广泛、最成熟的领域<sup>[1]</sup>。传统生产加工模式中, 切削、焊接、打磨等工序多依赖人工操作, 不仅效率低下、精度不足、安全隐患突出, 还难以适应规模化、标准化、柔性化的生产需求。工业机器人凭借其高精度、高稳定性、高柔性的优势, 承担具体加工执行任务, 电气自动化系统则发挥管控核心作用, 实现对加工全过程的精准调度、实时监测和智能调控, 二者深度融合, 彻底改变了传统生产加工的作业模式, 推动生产加工环节向高效化、精准化、智能化转型。

自动化切削环节, 机器人与电气自动化系统的融

【作者简介】王金星(1983—), 男, 中国山西霍州人, 本科, 工程师, 从事智能制造与自动化技术研究。

合实现了切削作业的全流程自动化管控。工业机器人作为执行终端，搭载专用切削刀具，按照预设程序完成各类切削作业，能够精准控制切削参数，有效避免人工操作带来的误差，确保切削件的尺寸一致性和表面光洁度。实践中，应针对不同类型的材料，开展大量的加工实验，通过改变工艺参数，如切削速度、切深、进给量等，观察、记录切削力、加工精度、表面质量以及刀具磨损等变化情况，找出不同材料在不同加工条件下的最优工艺参数组合，为加工提供科学、合理的工艺参数指导。电气自动化系统以可编程逻辑控制器、触摸屏、传感器为核心，搭建一体化管控架构，传感器实时捕捉切削工序关键数据并传输至控制器，控制器结合预设参数与实时数据，自动校准机器人运行轨迹和切削参数，同时管控切削设备启停、冷却液供给等辅助环节，形成闭环控制。在机械零部件生产中，该模式可实现复杂曲面零件自动化切削，大幅提升效率、降低废品率，减轻人工负荷并规避安全风险。

自动化焊接环节，二者融合有效解决了传统焊接焊缝不均、质量不稳定、劳动强度高的痛点。工业机器人搭载焊接枪，在电气自动化系统管控下，完成定位校准、焊缝跟踪、自动焊接等操作，适配多种焊接方式，满足不同材质、厚度工件需求。电气自动化系统通过焊缝跟踪传感器捕捉焊缝变化，反馈数据并调整焊接参数，确保焊缝平整牢固，同时实时监测焊接参数，异常时立即停机避免缺陷。该模式已广泛应用于汽车车身焊接，显著提升生产效率与产品质量。

## 2.2 装配与检测环节

装配与检测是智能制造流程中不可或缺的关键环节，直接决定产品最终质量和性能。传统装配与检测多依赖人工，效率低下、劳动强度大，且易因人为疏忽出现装配偏差、检测失误，难以满足现代化生产的质量要求。机器人与电气自动化系统深度融合，实现了装配与检测的自动化、精准化和智能化，机器人承担高效装配作业，电气自动化系统负责全程监测调控和精准检测，二者协同发力，大幅提升装配效率和检测精度，降低人为误差，为产品质量提供坚实保障。

自动化装配环节，工业机器人作为核心执行设备，在电气自动化系统管控下，完成零部件的精准抓取、定位、装配，适配多种生产场景。其灵活的运动轨迹和精准定位能力，可突破人工局限，完成复杂及微小零部件的高精度装配。电气自动化系统通过控制器、伺服系统、视觉传感器构建管控体系，预设装配程序和参数，控制机器人运行状态，实时捕捉零部件位置并修正偏差，避免装配失误。在电子设备生产中，该模式可完成各类微小零部件自动化装配，降低劳动强度，减少零部件损坏和装配偏差。汽车零部件装配领域，二者融合应用更为广泛，通过多台六轴机器人与电气自动化系统融合，实现高压连接器大规模自动化装配，集成多个工位和视觉处理系统，节省空间且实现装配与检测同步，确保质量达标。

精准检测环节，电气自动化系统构建全方位检测体系，通过各类设备采集产品关键数据，分析比对后标记不合格产品。工业机器人负责产品输送，实现装配与检测无缝衔接，提升检测效率并避免人工误差。同时，电气自动化系统可存储分析检测数据，为生产优化提供支撑，提升产品质量稳定性。

## 2.3 物流与仓储环节

物流与仓储是智能制造产业链的重要枢纽，承担原材料、零部件和成品的搬运、分拣、存储任务，其效率和智能化水平直接影响整个智能制造流程。传统物流仓储依赖人工和传统设备，存在效率低、人力成本高、分拣误差大、空间利用率低等问题，难以适应规模化、柔性化生产需求。机器人与电气自动化系统深度融合，构建智能物流仓储体系，机器人承担搬运、分拣等作业，电气自动化系统实现精准调度和全程管控，推动物流仓储向高效化、智能化、集约化转型。

智能搬运环节，机器人在电气自动化系统调度管控下，实现各类物料自动化搬运。AGV 自动导引运输车凭借自主导航能力，按预设路径行驶，完成工位间物料搬运，适配多种场景且能灵活避障。电气自动化系统构建 AGV 调度体系，实时监控运行状态，合理分配任务，避免碰撞和路径冲突。在汽车工厂总装车间，AGV 可自动将零部件从仓库搬运至装配工位，实现准时配送，减少物料损坏和安全隐患。机械臂搬运机器人则用于仓库物料装卸搬运，搭配末端夹具实现精准抓取，电气自动化系统实时监测，确保搬运平稳安全。

智能存储环节，依托电气自动化系统搭建起智能仓储管理体系，可对货架状态、货物信息进行实时监控，实现仓储全流程的信息化管控。工业机器人承担货物入库、出库与盘点等核心作业，搭配各类传感器实时采集货物数据，并同步与仓储管理系统进行信息比对，精准保障货物数量无误。当前国内外多家知名电商及物流企业的智能仓储中心，均采用这一运营模式实现无人化作业，不仅大幅提升了仓储空间利用率与整体作业效率，还让物流仓储环节与生产加工环节实现了无缝衔接。

# 3 机器人与电气自动化融合在智能制造中的应用策略

## 3.1 技术端：突破核心技术瓶颈

技术是机器人与电气自动化融合在智能制造中应用的核心。作为制造大国，我国已经积累了丰富的技术储备。需从产业转型升级的战略高度出发，以二者的深度融合为指引，进一步推动技术发展，持续释放技术赋能效应。首先，加大核心技术研发投入。紧扣融合应用中的技术痛点，重点做好工业机器人领域的伺服电机、减速器、控制器等核心零部件的研发，以及电气自动化领域的 PLC 编程、传感器集

成等关键技术的研发。其次，推动设备升级。老旧设备不足以支撑二者的融合应用，需通过设备改造、设备更新，做好设备升级，为融合应用奠定坚实的物质基础<sup>[2]</sup>。设备改造方面，对尚能继续使用的设备，进行智能化改造，如加装传感器、升级控制系统，实现设备协同联动。设备更新方面，及时淘汰老旧设备，引入兼容性好、拓展性佳的智能化设备，提升数据传输与协同控制能力。最后，提高系统兼容性。兼容性不足，是系统最主要的问题。需围绕工业机器人、电气自动化，构建统一的通信协议与数据接口，实现二者的信息共享及协同控制。以融合应用为导向，优化PLC编程逻辑，使工业机器人动作与电气管控指令得以同步。此外，加速智能管控平台建设，依托大数据、人工智能，实现设备远程监控、故障诊断与维护，提升运维效率。

### 3.3 程序端：完善协同管控体系

程序是机器人与电气自动化融合应用的运行准则，对融合应用的效果有着至关重要的影响。当前，二者在智能制造中的融合应用，正处于起步探索阶段，面临着程序设计不合理、管控流程不规范、协同机制不完善等问题，对智能制造的高质量发展形成了极大的制约。对此，需从三个方面采取好策略。一是优化程序设计。紧扣智能制造下的生产需求，优化电气系统控制程序以及机器人运动程序，确保其合理、稳定、可扩展。从生产工序出发，开发定制化模块，推动生产管理向模块化转变。注重程序的兼容性与通用性，确保其可重复利用，提高经济效益。二是规范管控流程。在智能制造流程梳理的基础上，优化生产调度计划，依托人工智能，自动分配作业任务及设备参数，确保流程顺畅、连贯。明确机器人与各类电气设备的作业时序，避免出现工序冲突，并减少设备闲置的现象，提高生产效率。三是构建协同管控体系。以集中管控、分级负责为原则，构建协同管控体系，明确各岗位职责。全面采集、整合融合应用中的

数据，如设备运行数据、生产进度数据等，依托集成化的智能管控平台，实时监控、动态分析生产情况。构建故障预警机制，根据数据分析结果，研判设备运行状态与故障风险，并及时采取措施，最大限度降低故障对生产的影响。

### 3.3 人才端：强化人才支撑保障

人才是智能制造的核心支撑点。机器人与电气自动化融合在智能制造中的应用，对人才的专业能力、综合素质提出了更高的要求。企业围绕机器人与电气自动化融合，加强员工培训，提高员工的技能水平<sup>[3]</sup>。校企双方以产教融合为指引，全面深化校企合作，共同编制人才培养方案。例如，基于机器人与电气自动化融合的内涵、要求，联合开设交叉专业，培育兼有电气系统调试管控能力与机器人操作编程能力的复合型人才，提高人才培育质量。人才激励方面，将人才激励作为激发人才工作积极性与职业发展意愿的关键环节，聚焦融合应用这一核心目标，设立技术创新奖励基金，对在融合应用中表现突出的人才，予以丰厚的物质激励。健全人才职业发展通道，为人才提供清晰的晋升路径，并推动技术型人才、管理型人才的双向流动。

## 4 结语

当前，我国正大力推进智能制造，机器人与电气自动化融合应用，是加速智能制造步伐的重点。对此，需从生产加工、装备监测、物流仓储三个环节，做好融合应用，并围绕技术、程序、人员三大方面，采取好策略

### 参考文献

- [1] 杨思琦.基于网络通信技术的智能农业机械系统建模与优化研究[J].中国农机装备, 2025(6):65-68.
- [2] 葛超凡.基于人工智能技术的电气自动化控制研究[J].中国设备工程, 2025(10):26-28.
- [3] 梁远茂.人工智能技术及应用——以电气自动化中的应用为例[J].广西物理, 2023, 44(1):74-76.

# Analysis on Detection Methods and Prevention Strategies for Elevator Operation Failures

Ying Zhang

Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

## Abstract

Elevators, as indispensable vertical transportation systems in modern architecture, require paramount safety and reliability. However, prolonged operation inevitably leads to various operational failures. This study conducts an in-depth analysis of common elevator malfunctions, with particular focus on mechanical system failures and electrical control system malfunctions. Based on these findings, the paper explores diagnostic technologies including traditional inspection methods, non-destructive testing approaches, and intelligent diagnostic systems. It further proposes governance strategies such as establishing standardized daily maintenance protocols, optimizing design and installation processes, and implementing preventive maintenance measures, providing actionable references for industry professionals.

## Keywords

elevator operation failure; detection methods; preventive strategies

## 试析电梯运行故障的检测方法与预防策略

张瑛

杭州市特种设备检验科学研究院, 中国·浙江 杭州 310051

## 摘要

电梯作为现代建筑中不可或缺的垂直运输工具,其安全性与可靠性至关重要。然而,在长期的使用过程中,电梯不可避免地会出现各种故障。本文对电梯常见故障进行了深入分析,重点包括机械系统故障、电气控制系统故障等问题。基于这些故障,本文探讨了传统检测方法、无损检测方法及智能诊断方法等诊断技术,并提出了建立标准化日常维保制度、优化设计与安装调试以及预防性维护等治理策略,以供相关人员参考。

## 关键词

电梯运行故障; 检测方法; 预防策略

## 1 引言

电梯在长期高负荷运行过程中易出现机械磨损、电气故障、控制系统失灵等各类问题,不仅影响乘梯体验,更可能引发困人、冲顶、蹶底等安全事故。电梯故障的早期发现与及时处理是保障其安全运行的关键。传统的定期检修模式存在检测盲区,难以实现故障的实时预警。因此需要构建系统化、常态化的预防策略,及时发现潜在隐患,快速定位故障根源,减少故障发生频次,保障电梯持续安全稳定运行。

## 2 电梯运行常见故障类型

### 2.1 机械系统故障

电梯在高负荷状态下长期运行时,机械系统容易出现

故障。机械系统主要包括曳引机、导轨、导靴、轿厢、对重、钢丝绳、缓冲器等部件。曳引系统是电梯的动力核心,曳引机轴承磨损、减速箱齿轮损伤会产生异常噪声与振动;曳引钢丝绳出现断丝、锈蚀、松股、张力不均,易导致轿厢抖动、平层不准,严重时可能引发坠落风险。导轨系统也存在故障情况,导轨安装偏差或变形:导致轿厢运行不平稳,产生晃动或异常声响。滑动导靴的衬板磨损过度或滚动导靴的滚轮损坏,影响导向精度。滑动导靴与导轨之间润滑不足,摩擦阻力增大,产生啸叫声。

### 2.2 电气控制系统故障

电气系统主要包括控制柜、变频器、PLC控制器、传感器等各个部分,故障占比高,排除难度大。在控制柜方面,可能会出现接触器和继电器故障,主要表现为触点烧蚀、粘连或线圈烧毁,导致控制逻辑紊乱。变频器故障表现为功率模块损坏、直流母线电容老化、散热风扇失效,引起调速异常或过载报警。PLC主板故障主要表现为程序运行异常、I/O接口损坏、存储数据丢失,造成电梯死机或运行逻辑错误

【作者简介】张瑛(1972-),女,中国浙江杭州人,本科,工程师,从事电梯起重机智控与检测技术、检测质量与体系管理研究。

[1]。线路与传感器出现故障，主要表现为线路老化、短路、断路、接线松动，引起信号传输故障。平层传感器、位置开关、超载装置失灵，会导致平层精度差、误动作、无法关门等故障。电源与接地故障表现为电压不稳、缺相、漏电或损坏电气设备；接地不良易产生电磁干扰，影响控制系统稳定性，甚至引发触电风险。

### 2.3 门系统故障

门系统是电梯故障率最高的部件，约占全部故障的 40%。门系统主要包括轿门、层门、门机、门锁装置、门滑轮、关门力限制器等，直接关系乘电梯的安全性。门机故障主要表现为门电机损坏、传动皮带松弛、控制器故障，导致开关门动作异常。门锁装置故障表现为门锁触点接触不良、锁钩磨损、锁紧力不足，会导致门未关紧，电梯仍可运行，引发夹人、坠落风险，层门自闭装置失效，会出现层门敞开隐患。安全触板或光幕故障主要表现为保护装置失灵，可能导致夹人事故或电梯反复开关门。门导轨或滑块磨损表现为门扇运行阻力增大、开关门不到位或运行缓慢。

### 2.4 运行性能类故障

运行性能类故障不会直接引发安全事故，但严重影响到电梯的使用体验和设备的寿命。在运行过程中可能会出现剧烈振动、刺耳异响，源于机械部位磨损、安装精度不足、润滑缺失、曳引力不均。电梯的运行速度异常，主要表现为加速过急、减速滞后、匀速不稳，多由变频器故障、编码器异常、曳引机扭矩不稳所导致。

## 3 电梯运行故障的检测方法

### 3.1 传统检测方法

开展电梯运行故障的检测工作，可采用传统检测方法。首先，开展人工巡检。专业维保人员按照规定的周期，对电梯各个部位进行外观检查、动作测试和参数测量。外观目视检查中主要检查轿厢层门、导轨、钢丝绳、控制柜等部件的外观，查看是否存在变形、锈蚀、破损、松脱的情况 [2]。观察线路是否老化裸露、接线松动，核查门锁安全钳、限速器等安全部件是否完好。该方法更加直观高效，可快速地发现表面故障。其次，使用仪器仪表检测法。万用表与钳形电流表测量电压、电流、电阻值，判断电气线路的通断和电机负载状态。绝缘电阻测试仪测量电机绕组、控制线路对地的绝缘电阻，检测绝缘老化或受潮情况。转速表与加速计测量曳引机转速、轿厢运行速度及加速、减速，评估运行稳定性。噪声计与温度计定期测量设备运行噪声和环境温度，辅助判断轴承、减速箱等部件的状态。

### 3.2 无损检测技术

合理使用无损检测技术，可达到良好的故障检测效果。无损检测技术能够在不损伤电梯构件，不改变材料性质的前提下，对设备内部缺陷、疲劳损伤和应力分布进行检测。磁粉检测技术主要用于电梯、碳钢类铁磁性构件表面及近表面

缺陷检测，例如轿厢承重梁、曳引机底座、安全钳模块等，直观显示裂纹、气孔、未焊透、疲劳裂纹等缺陷形态。超声波检测用于检测曳引机主轴、吊钩、承重梁等关键受力部位的内部裂纹、气孔等缺陷，精准地定位缺陷的位置、大小和深度 [3]。渗透检测适用于电梯非多孔性材料表面缺陷检测，如铝合金轿厢部件、导轨工作面等。可发现细微裂纹、划伤等目视难以识别的表面缺陷，适合复杂结构件的检测。钢丝绳专用无损检测主要是针对电梯曳引钢丝绳这一核心安全部件，使用电磁感应式钢丝绳探伤仪进行的专项检测技术。利用强磁化原理将钢丝绳磁化至饱和状态，当钢丝绳存在断丝、锈蚀、磨损等缺陷时，漏磁场发生改变，拾取漏磁信号，定量评估钢丝绳损伤程度，预测剩余使用寿命，避免因钢丝绳突然断裂引发重大安全事故。

### 3.3 智能检测与诊断方法

智能诊断方法是基于人工智能和大数据技术的发展，通过对大量历史数据和实时监测数据的分析，实现对电梯故障的智能识别和预测。可以在曳引机、导轨、门机、控制柜等关键部位安装振动传感器、温度传感器和噪声传感器等各类传感器，实时采集运行数据，通过异常数值判断故障的隐患情况 [4]。依托大数据和物联网，实时采集电梯的运行状态、故障代码和报警信息，运维人员可远程监测电梯的运行参数，诊断故障类型和位置。通过门区信号和运行状态，判断是否发生困人事件，自动通知救援人员被推送困人楼层。而且基于历史数据和机器学习算法，可预测关键部件剩余寿命，建议最佳维护时机。

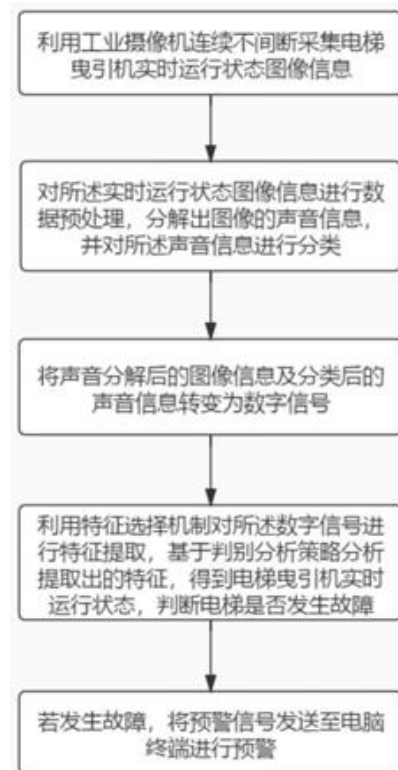


图 1 一种基于图像识别的故障诊断技术流程

### 3.4 电气参数检测方法

电气参数检测方法应用于电机运行故障的检测中,可开展电机电流特征分析。曳引电机的定子电流中包含丰富的状态信息,通过采集电流信号并进行频谱分析,可以识别出电机转子断条、气隙偏心、轴承故障等问题。此外,启动电流波形、稳态电流有效值的变化,也可以反映负载变化和机械阻力的增大。开展能耗监测工作,使用智能电表记录电梯运行的电能消耗,结合运行次数和负载的情况,可以评估系统的能量效率。异常能耗增加往往预示着机械摩擦增大或者电气效率下降。做好制动器监测工作,制动器是电梯最重要的安全部件之一,通过监测制动器线圈电流、制动臂位移和制动弹簧压力等参数,判断制动器是否能够正常打开和闭合,是否存在打滑或卡滞的现象。

## 4 电梯运行故障的预防策略

### 4.1 建立标准化日常维保制度

为了有效应对电梯运行的各类故障,需要建立标准化的日常维保制度。首先制定分级维保计划,严格按照相关规章制度,制定半月、季度、半年、年度维保方案,明确项目的具体流程和内容。半月维保计划中,重点检查门系统安全开关和润滑部位;季度维保计划中检测电气系统制动装置;年度维保,开展全面性能试验与安全校验。其次,紧固连接件、测试安全装置等细节性工作也需要做好。对于电梯的要害部位,例如曳引机、制动器等,更需要重点关注。这些部件事关电梯的核心,若有疏忽,可能会引发严重事故。因此对其检查维护的频次和标准,必须高于常规部位。第三,定期对导轨、导靴、曳引机轴承、门滑轮等部位加注润滑油,减少磨损与异响。及时清理门轨、轿厢底部、层门地坎垃圾,防尘卡滞故障。

### 4.2 优化设计方案

从设计阶段入手可以做好源头把控工作,有效减少电梯运行故障的发生概率。一,做好冗余设计,对于关键安全部件采用冗余设计。例如制动器采用双独立制动系统,任意制动器失效仍能保证制动力。门锁回路采用双触点串联,安全回路采用双通道设计,避免单点故障导致的安全隐患。二,可靠性设计。通过故障模式与影响分析,识别潜在故障模式及其影响,在设计阶段采取措施降低故障的发生概率<sup>[5]</sup>。例如可选用高可靠性元器件,提高性能的稳定性的。三,开展模块化设计,将电气控制系统划分为电源模块、主控模块、驱动模块等标准化模块单元,便于故障时快速更换或者维修。四,开展自诊断功能设计。在控制系统中内置自诊断程序,上电自检和周期性自检可检测传感器信号合理性、安全回路完整性、制动器动作可靠性等,发现异常要及时报警,采取安全保护动作,减少故障的发生。

### 4.3 加强安装调试管控

电梯安装调试环节加强质量管控工作,能够有效减少各类隐患,避免后续发生故障。首先,电梯安装调试环节,需要依照国家标准和制造商要求进行安装,确保导轨垂直度、平整度、接头台阶差等指标符合规范要求<sup>[6]</sup>。曳引机水平度、导向轮与曳引轮的平行度等,直接影响运行的稳定性。其次,开展精确调试。慢车调试主要检查曳引机的转向、制动器动作、限速器动作速度等。快车调试主要调整启动加速度、运行速度、减速度曲线,使运行舒适度更加良好。门机调试主要调整开关门速度、力矩、保持力,使开关门动作顺畅可靠。平层精度调试调整平层感应器位置,有效控制误差。

### 4.4 预防性维护

预防性维护基于设备运行规律、老化特性与检测数据,采取适当的检查、润滑,清洁、调整、更换等各类措施,有效消除隐患,预防故障的发生。定期开展检查维修工作,解决表面的各类隐患,而通过统计寿命数据和状态监测结果,可以对易损件实施预防性更换计划。钢丝绳出现断丝达到规定数量,直径磨损超过10%或出现严重锈蚀时要及时更换。曳引轮槽磨损程度达到3mm,或者形状改变,导致曳引力下降时更换。接触器触点厚度磨损超过2/3,或者出现严重烧蚀时更换。制动器闸瓦的磨损厚度超过原厚度1/3时更换。通过预防性维护,及时更换各类磨损的零部件,有效预防故障的发生。

## 5 结语

综上所述,电梯运行故障的检测与预防工作尤为重要,可以延长电梯的使用寿命,保障人员的安全。在具体应用中,将传统的检修模式与无损检测技术、智能检测技术、电气参数检测方法等相结合,做好全面检测工作,及时发现隐患。并从设计优化、安装质量调试、预防性维护等多个方面,提出预防策略,有效应对电梯运行故障。

### 参考文献

- [1] 陈佳华. 电梯运行故障的检测方法与预防[J]. 科技风,2020(16):154.
- [2] 常睿,吴国峰. 电梯运行故障的检测方法与预防[J]. 商品与质量,2020(40):172.
- [3] 陈宇峰. 电梯运行故障的检测方法与预防[J]. 建筑工程技术与设计,2020(35):4580.
- [4] 范玉川,范波,陈卓,等. 电梯门机异常检测和故障定位方法[J]. 东北大学学报(自然科学版),2024,45(6):761-768.
- [5] 马凯,谢林莹. 电梯检测中电梯运行共振原因的探讨[J]. 实验室检测,2025,3(21):126-128.
- [6] 周昌玉. 电梯设备检测技术及故障解决策略研究[J]. 模型世界,2025(24):131-133.

# Upgrade and Development Path of Radio and Television Engineering Technology in the Era of Converged Media

Jian Bai

Huainan News Media Center, Huainan, Anhui, 232001, China

## Abstract

The advent of the converged media era has profoundly transformed information dissemination patterns, content production methodologies, and audience reception habits, while also imposing new demands on radio and television engineering systems. Traditional broadcasting infrastructure was characterized by one-way transmission, fixed terminal reception, and relatively isolated transmission networks. Against the backdrop of continuous media convergence, broadcasting engineering has progressively evolved toward networked, digitalized, intelligent, and platform-based architectures. Critical operational aspects—including program acquisition and production, broadcast control systems, signal coverage, platform management, content distribution, and technical maintenance—are now facing structural restructuring and capability upgrades. This paper examines the practical context of technological advancement in broadcasting engineering during the converged media era, analyzes existing challenges, identifies key technological priorities, and explores development pathways to provide actionable insights for high-quality broadcasting engineering development and integrated media ecosystem construction.

## Keywords

converged media era; broadcasting engineering; digital transformation; intelligent development; development path

## 融媒体时代广电工程技术升级与发展路径

柏建

淮南市新闻传媒中心, 中国·安徽 淮南 232001

## 摘要

融媒体时代的到来, 深刻改变了信息传播格局、内容生产方式和受众接收习惯, 也对广电工程技术体系提出了新的要求。传统广电工程以单向播出、固定终端接收和相对独立的传输链路为主要特征, 而在媒介融合持续推进的背景下, 广电工程已逐步向网络化、数字化、智能化和平台化方向转变。无论是节目采集制作、播控传输、信号覆盖, 还是平台运营、内容分发和技术运维, 都面临结构重构与能力升级的现实任务。文章围绕融媒体时代广电工程技术升级的现实背景, 分析当前存在的主要问题, 探讨技术升级重点及发展路径, 以为广电工程高质量发展和融媒体建设提供参考。

## 关键词

融媒体时代; 广电工程; 数字化转型; 智能化发展; 发展路径

## 1 引言

在新一轮信息技术快速发展和媒介生态持续重塑的背景下, 广播电视行业已由传统单一传播模式逐步进入多平台协同、全链条互通、全终端覆盖的发展阶段。受众获取信息的方式不再局限于电视和广播终端, 而是更多依赖移动客户端、网络平台、社交媒体和智能终端, 这种变化使广电工程不再只是完成节目传输和播出保障的技术系统, 而逐步转变为支撑内容生产、融合传播、数据运营和智能服务的重要基础设施。与此同时, 云计算、大数据、人工智能、5G、超高清和物联网等技术不断渗透, 也使广电工程面临由传统架

构向新型架构转换的现实压力。若仍沿用原有分散化、封闭化和低协同的工程体系, 便难以适应融媒体传播对时效性、互动性、稳定性和精准性的要求。因此, 研究融媒体时代广电工程技术升级与发展路径, 既是广电系统技术变革的内在需求, 也是推动主流媒体增强传播力、引导力和影响力的重要支撑。

## 2 融媒体时代广电工程技术升级的现实基础

### 2.1 媒介生态重构推动广电工程角色转变

融媒体时代最突出的特征, 是传播格局从单一渠道输出转向多平台联动, 从固定时段接收转向全天候、全景触达。过去, 广电工程主要服务于节目制作播出和信号覆盖, 其核心任务集中在“采、编、播、传”基本流程的安全稳定运行。如今, 内容传播已由传统广播电视端口延伸至网站、

【作者简介】柏建(1973-), 男, 中国安徽淮南人, 本科, 工程师, 从事广播电视工程研究。

客户端、短视频平台、社交平台和智慧大屏，广电工程的技术边界明显扩展。它不仅要保障传统广播电视播出质量，还要支撑融媒体内容汇聚、统一编排、跨屏分发、互动反馈和数据分析。也就是说，广电工程已经从单纯的技术保障系统，转变为服务媒体融合生产与传播的重要平台型基础设施。角色的变化，决定了技术体系必须同步升级，否则就难以承担新的传播任务。

## 2.2 用户需求变化对工程技术提出更高标准

在传播方式深刻变化的同时，用户需求也在持续升级。当前受众不仅关注内容本身，更关注传播速度、观看体验、交互便利和个性化服务。对于广电平台而言，仅能提供线性播出和被动接收已难以满足现实需求。超高清视听体验、随时点播、跨端接续、智能推荐和互动参与，正在成为用户对现代媒体服务的基本期待。这种需求变化反过来要求广电工程在传输能力、存储能力、平台并发能力、终端适配能力和数据响应能力上实现提升。尤其在重大活动直播、突发事件传播和大型融媒体报道中，工程系统既要确保高可靠性，也要具备快速扩容和多端协同能力。受众需求越多样，广电工程技术升级的必要性就越明显。

## 2.3 新一代信息技术为广电升级提供了条件

尽管融媒体发展对广电工程提出了更高要求，但也必须看到，当前技术条件的成熟为广电工程升级创造了现实基础。云计算推动资源池化和业务柔性调度，大数据技术强化用户行为分析与内容运营支持，人工智能开始深入应用于内容审核、智能编目、语音识别、字幕生成和节目推荐等环节，5G技术则显著增强了高清直播、移动采集和低时延传输能力。与此同时，IP化传输、虚拟化架构、边缘计算和超高清制播技术的普及，也让传统广电系统具备了向融合型工程体系转型的技术可能。这表明，广电工程升级并不是无源之水，而是已经具备较好的技术支撑和现实条件。关键问题在于如何把技术资源转化为系统能力，把单点突破转化为体系升级。

## 3 当前广电工程技术发展中存在的主要问题

### 3.1 工程架构相对分散，融合支撑能力不足

从当前实践看，一些广电单位虽然已经启动了融媒体建设，但工程系统仍存在传统条线分割明显的问题。采集、制作、播控、存储、传输、发布和运维等环节往往由不同系统承担，系统之间接口不统一、标准不一致、资源共享不足，导致技术支撑链条不够顺畅。尤其在传统广播电视平台与新媒体平台并行运行的情况下，重复建设、数据孤岛和流程脱节现象较为普遍。内容在不同平台之间流转效率不高，资源调度灵活性较差，影响了融媒体传播的整体响应速度。工程架构分散，使广电技术体系难以形成统一底座，也削弱了其内容融合生产和多平台传播的支撑能力。

### 3.2 技术更新不均衡，系统协同性有待提升

融媒体时代的广电工程升级不是单一设备更新的问题，

而是采集端、制作端、传输端、播出端和管理端的整体协同问题。然而，在一些地区和单位，技术更新呈现出明显的不均衡状态。有的单位重视前端采编设备现代化，却忽视后台播控和存储系统升级；有的在网络发布平台建设上投入较大，但传统传输链路与新媒体系统缺乏联动；还有的虽然引入了云平台和智能工具，但未能与既有业务流程有效融合，导致新技术“用得上”却“用不好”。这种结构性不平衡，使得广电工程整体效能难以充分释放，也不利于形成面向融媒体传播的完整技术生态。技术升级如果不能形成全链条协同，最终往往只能停留在局部改良层面。

### 3.3 运维模式相对传统，智能化管理水平不高

广电工程运行具有连续性强、稳定性要求高、故障敏感度高等特点，运维保障一直是技术管理的重要内容。但从现实情况看，一些广电工程运维模式仍较为传统，更多依赖人工巡检、经验判断和事后处置，缺乏智能预警、系统分析和主动运维能力。在融媒体环境下，平台数量增加、网络结构复杂、终端类型多样，传统运维模式已难以适应新的技术形态。尤其在多平台同步分发、超高清播出、云端协同和大规模用户接入条件下，任何节点异常都可能放大为系统性影响。若没有更高水平的智能化监测和运维体系，广电工程的稳定运行将面临更大压力。因此，运维模式落后已成为制约广电工程提质增效的重要因素之一。

## 4 融媒体时代广电工程技术升级的重点方向

### 4.1 推进制播传输体系数字化与网络化重构

广电工程技术升级的基础方向，是加快推进制播传输体系的数字化与网络化重构。传统广电工程多建立在相对封闭、线性和层级分明的链路之上，而融媒体时代要求内容能够在不同平台之间高效流转、快速调度和灵活分发，这就必须推动工程架构从“设备中心”向“数据中心”和“平台中心”转变。具体来看，应加快传统视音频信号系统向IP化、文件化和网络化方向升级，提升采编播系统与网络分发平台之间的兼容性和互联能力。通过构建统一资源管理平台，实现内容素材、播出资源、传输资源和终端资源的协同管理。数字化重构不仅能提高流程效率，也有助于减少重复建设和系统割裂，为融媒体环境下内容快速生产与精准传播奠定工程基础。

### 4.2 强化超高清、云化和智能化技术应用

在广电工程升级过程中，超高清、云化和智能化是不可忽视的关键方向。随着受众对视听品质要求持续提升，超高清制播已成为广电高质量发展的重要标志。工程系统应围绕4K、8K、高动态范围和高帧率等技术要求，推进采集制作设备、存储系统、播出平台和传输链路的整体升级。与此同时，云技术的应用将显著改变传统广电工程的资源配置方式。云平台可实现内容制作、审核、存储、分发和管理的柔性部署，增强系统扩展性和跨区域协同能力。智能化技术则更深层地影响广电工程运行逻辑，从自动编目、智能审核到

故障监测、内容推荐、运营分析,人工智能的渗透正在让广电工程由“被动支撑”走向“主动赋能”。这三类技术相互联系、共同作用,是未来广电工程技术升级的核心支点。

#### 4.3 加强平台整合与数据能力建设

融媒体传播强调一体策划、一体生产、一体分发,而这一目标的实现,离不开统一的平台支撑和数据能力保障。当前广电工程升级应更加注重平台整合,通过建立统一的内容中台、技术中台和数据中台,打通不同业务系统之间的资源壁垒和流程壁垒。内容中台重点解决素材汇聚、统一编排和多端分发问题,技术中台侧重基础能力共享与应用快速调用,数据中台则围绕用户行为、传播效果、平台运行状态和内容运营绩效进行分析支撑。广电工程若能形成平台整合与数据驱动相结合的发展格局,不仅能够提升传播效率,也能增强内容供给与用户需求之间的匹配度。数据能力建设不应被理解为简单的数据存储,而应成为推动广电工程由技术系统向智能系统转型的重要动力。

### 5 融媒体时代广电工程发展的实施路径

#### 5.1 以顶层设计统筹工程体系升级

融媒体时代广电工程发展不能停留在零散建设和被动更新层面,而应坚持顶层设计先行。顶层设计的核心,是根据媒体融合发展目标,对广电工程的功能定位、技术架构、平台关系、资源配置和实施步骤进行整体统筹。不同地区和单位在规模基础、业务重点和技术条件上存在差异,因此工程升级既要有统一方向,也要有因地制宜的实施路径。在顶层设计中,应重点明确传统广电业务与新媒体业务的技术融合关系,厘清核心系统、支撑系统和扩展系统之间的结构逻辑,避免重复投资和孤立建设。同时,还要将安全播出、内容安全、网络安全和数据安全要求同步纳入工程规划,使广电工程升级既有发展导向,也有安全底线。顶层设计越科学,后续建设越能形成系统合力。

#### 5.2 以标准化建设推动技术协同和流程再造

广电工程技术升级不仅需要硬件和平台投入,更需要通过标准化建设推动系统协同和流程优化。现实中,很多技术衔接不畅、资源共享不足的问题,本质上都与标准缺失或标准不统一有关。因此,在推进融媒体工程升级过程中,应加强接口标准、数据标准、传输标准、存储规范和运维流程的统一建设,使不同系统之间能够高效联通、顺畅协作。标准化还应体现在业务流程层面,即通过对采集、审核、制作、

发布、分发和反馈各环节进行规范设计,推动传统条块分割流程向融合型、一体化流程转变。流程再造不是简单压缩环节,而是以技术协同为基础,提高内容生产和传播效率。标准越统一,系统越容易协同,广电工程的整体运行效率也就越高。

#### 5.3 以人才培养和运维转型支撑长期发展

技术升级最终要靠人来实施、维护和优化,因此广电工程发展离不开人才体系和运维体系同步转型。融媒体时代的广电工程人才,不再只是传统意义上的设备维护人员或播出保障人员,而需要具备网络技术、平台管理、数据分析、智能应用和安全防护等多方面能力。这意味着广电单位必须加强复合型技术人才培养,推动工程人员由单一岗位型向平台支撑型和融合应用型转变。与此同时,运维体系也应由传统的人工巡检和故障处置模式,逐步走向智能监测、远程运维、预测预警和协同保障模式。只有人才结构和运维模式同步升级,广电工程技术升级才能真正落地,并在长期运行中持续释放价值。没有高水平的人才和现代化运维,先进系统也难以转化为稳定能力。

### 6 结语

融媒体时代广电工程技术升级,既是媒介融合深入发展的客观要求,也是广电系统实现高质量转型的重要抓手。面对传播场景多元化、用户需求个性化、内容生产平台化和技术体系智能化的发展趋势,传统广电工程已无法单独依靠原有架构支撑新的传播格局,必须加快向数字化、网络化、云化和智能化方向升级。通过推进制播传输体系重构、强化平台整合与数据能力、完善顶层设计与标准化建设,并同步加强人才培养和运维模式转型,广电工程有望从传统支撑系统逐步成长为融合传播的重要技术底座。今后,随着信息技术不断发展和媒体融合不断深化,广电工程将不再只是保障播出的后台系统,而会成为连接内容、平台、技术与用户的重要枢纽,为主流媒体提升传播力和服务能力提供更加坚实的技术支撑。

#### 参考文献

- [1] 于永海.融媒体时代广电工程技术的发展探究[J].记者摇篮,2025,(02):111-113.
- [2] 何海寅.融媒体时代广电工程技术的优势及发展[J].中国报业,2024,(16):70-71.
- [3] 宋奎东.融媒体广电工程技术中网络技术应用分析[J].科技资讯,2022,20(05):10-12.

# Optimization of Co-Separation Technology for High-Salinity and High-COD Wastewater and Its Engineering Application in the Textile Industry

Yungang Luo Jie Liu Hongwei Qiao Shouxiu Sun Yiling Chen

Korla Zhongtai Textile Technology Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

## Abstract

The wastewater discharged from the textile printing and dyeing industry contains a large amount of high salt and high COD. Traditional separation processes have low separation efficiency, low degree of salt resource utilization, and serious membrane pollution, which cannot meet the requirements of industry emission reduction and resource utilization. After optimizing the synergistic effects of pretreatment, membrane concentration, and evaporation crystallization, key unit parameter adjustment and improved drug compatibility were adopted to achieve efficient separation of salt and organic matter, improve salt crystal purity and COD removal efficiency. Combined with the engineering application requirements of the textile industry, the integrated design of the system was completed to solve the efficiency problems of traditional processes in practical operation, providing technical support and engineering reference for the treatment of high salt and high COD wastewater in the textile industry.

## Keywords

high salt and high COD wastewater; collaborative separation; membrane concentration; evaporative crystallization; textile printing and dyeing; engineering application

## 高盐高 COD 废水协同分离技术优化及纺织行业工程应用实践

罗云刚 刘洁 乔宏威 孙守秀 陈依铃

库尔勒中泰纺织科技有限公司, 中国·新疆 库尔勒 841000

## 摘要

纺织印染行业的排放废水含有大量高盐高COD, 传统的分离工艺分离效率低、盐资源化程度不高、膜污染严重, 不能满足行业减排和资源化利用的要求。经过对预处理、膜浓缩和蒸发结晶三者协同作用进行优化, 采用关键单元参数调节以及药剂配伍改善的方式, 达到盐分和有机物高效分离的目的, 提高盐晶纯度和COD去除效果, 结合纺织行业的工程应用需求完成系统的集成设计, 解决传统工艺在实际运行中出现的效能问题, 给纺织行业的高盐高COD废水处理提供技术支持和工程参考。

## 关键词

高盐高COD废水; 协同分离; 膜浓缩; 蒸发结晶; 纺织印染; 工程应用

## 1 引言

纺织印染过程中染料、助剂的大量使用造成废水含有大量的盐分和有机污染物, 呈高盐高COD特征, 直接排放会造成水体生态系统的严重破坏, 传统的处理工艺大多采用单一分离的方式, 不能实现盐分和有机物的深度分离, 而且容易造成膜污染、结垢严重、能耗偏高等问题, 使处理后的废水达不到排放标准, 盐资源也无法得到有效地回收。传统工艺设计缺陷的原因是没有考虑到高盐环境对COD降解的

抑制作用, 忽略了协同分离过程中热力学和动力学的耦合效应, 造成工艺单元衔接不好, 运行效率无法提高。根据以上对工艺瓶颈的分析, 协同分离技术依靠多单元耦合以及参数调节, 实现盐分回收和COD去除的协同前进, 工程应用可以很好地解决纺织行业废水处理难题, 助力行业绿色低碳转型。目前技术优化大多停留在实验室阶段, 与纺织行业实际废水水质、运行工况的契合度欠缺, 亟需通过工程实践加以检验并改进, 构建完善的工艺应用体系。

【作者简介】罗云刚(1988-), 男, 回族, 中国甘肃天水人, 本科, 工程师, 从事人造纤维素纤维研究。

## 2 高盐高 COD 废水水质特征与协同分离机制分析

### 2.1 典型纺织印染废水盐分与有机物组成谱图

纺织印染废水中的盐分主要是由染色、固色时加入的盐类助剂引起的，其组成主要是氯化物和硫酸盐，其中还含有少量重金属盐类，盐分的组成受染料种类、生产工艺的影响较大，盐分的存在形式主要是溶解态，不能用常规沉淀的方法进行分离。有机物组分主要是染料、浆料和表面活性剂，染料分子结构复杂、稳定性好，不能生物降解，浆料和表面活性剂会提高废水的黏度，增大分离难度。组成谱图表明，该类废水的有机物和盐分是协同存在的，有机物分子容易吸附在盐分离子表面，形成稳定的胶体体系，使得单一分离工艺很难实现两者的高效分离，同时有机物的存在会干扰盐分的结晶纯度，高盐环境又会抑制有机物的降解转化<sup>[1]</sup>。

### 2.2 高盐度对 COD 降解过程的抑制效应及机理

高盐度对于 COD 降解的抑制作用在处理过程中一直存在，主要机理是渗透压失衡以及细胞膜通透性改变。高盐环境里，水体渗透压明显增大，微生物细胞内部溶液浓度比外界低很多，水分就会由细胞内流向细胞外，造成微生物体内水分大量丧失，破坏内部的生物化学反应环境，进而使代谢过程被中断，直到菌体死亡。细胞膜选择透过性的改变受到盐浓度的影响，盐分会影响微生物对营养物质的吸收过程，一些重金属盐类还会进入细胞内，破坏酶的活性，从而抑制有机物的降解。高盐环境还会降低有机物的可生物降解性，使 COD 去除速率大幅度下降，而且还会加重污泥膨胀、泡沫泛出等状况，造成生化处理单元失效，这种抑制效应会随着盐度的起伏而加重，给协同分离工艺的稳定运行造成困难<sup>[2]</sup>。

### 2.3 协同分离过程的热力学与动力学基础

协同分离过程的热力学基础是盐分和有机物在不同的相态中分配的不同，通过调节温度、压力等参数来改变体系的 Gibbs 自由能，使盐分和有机物向不同的相态迁移，达到分离的目的。膜浓缩环节中，膜的选择透过性是根据热力学平衡原理来实现的，即盐分离子和水分子先通过膜组件，然后有机物分子被截留，其驱动力是膜两侧的压力差，符合渗透平衡规律。蒸发结晶环节依靠盐分和有机物的沸点差别，借助热量输入让水分蒸发，盐分到达过饱和状态之后就会结晶析出，热力学上体现为体系熵增的自发过程。动力学上协同分离过程速率受传质速率和反应速率共同影响，膜浓缩过程中，错流速度提高可以减小浓差极化，加快盐分传质速率，在蒸发结晶过程中，加入晶种可以降低成核能垒，加快结晶速率，但是有机物的存在会吸附在晶核表面，延缓结晶过程，需要通过药剂调控来减少其干扰。

## 3 协同分离工艺单元优化与关键参数调控

### 3.1 预处理—膜浓缩—蒸发结晶的耦合工艺构型

耦合工艺构型是以预处理除杂、膜浓缩富集、蒸发结

晶回收为基本逻辑，打破传统单一工艺的局限性，使各个单元之间相互配合。预处理单元使用混凝和过滤相结合的方法，通过投加混凝剂来破坏废水的胶体体系，去除悬浮杂质和一部分大分子有机物，降低后面膜组件的污染负荷，过滤环节选择精密过滤介质，拦截微小杂质，防止膜孔堵塞。膜浓缩单元为关键的分离环节，采用抗污染膜组件，对盐分和有机物进行初步分离，浓缩后的高盐废水进入蒸发结晶单元，将盐分分离出来并回收利用，膜截留的有机物进入后续降解单元处理。耦合工艺的关键是单元之间的流量匹配和参数协调，预处理后废水水质要符合膜浓缩单元的进水要求，膜浓缩的浓缩比要与蒸发结晶单元的处理能力相适应，防止出现单元之间负荷失衡，造成工艺运行紊乱。<sup>[3]</sup>

### 3.2 抗污染膜组件及操作压力 / 错流速度优化

抗污染膜组件的优化主要集中在膜材质的改性和结构的设计上，选择亲水性膜材料，采用表面改性技术负载纳米颗粒，增加膜表面的亲水基团，减少有机物的吸附，降低膜污染速率。膜组件结构为错流过滤，加大膜表面流体扰动，减小浓差极化，提高分离效率。操作压力的调节要根据废水水质和膜组件性能来定，压力过高会造成膜污染、膜损伤，压力过低会使分离速率降低，用梯度压力试验来确定最佳的操作压力范围，保证分离效率和膜寿命的平衡。错流速度的优化要兼顾传质效率和能耗，速度过低会造成膜表面污染物沉积，速度过高会增大能耗，通过调节错流速度，使膜表面形成稳定的流体边界层，减少污染物吸附，延长膜污染周期。

### 3.3 蒸发结晶段过饱和度与晶种调控对盐晶纯度影响

蒸发结晶段的过饱和度以及晶种调节直接影响盐晶的纯度，过饱和度过高会造成晶体粒度不均、纯度降低，过饱和度过低会造成结晶周期变长，降低处理效率。过饱和度的调节依靠控制蒸发温度和蒸发速率来实现，防止过饱和度过大或过小造成剧烈波动，保证盐分结晶处于稳定的状态，降低杂质包裹的风险。晶种的选用要和目标盐类相匹配，选用纯度高、粒径均匀的晶种，加入适量的晶种作为结晶的核心，抑制自发成核，防止细小晶体团聚，提高盐晶的纯度。晶种投加量要精确控制，投加过多会造成晶体相互碰撞团聚，投加过少则不能起到晶种的作用，通过动态调节晶种投加量和结晶时间来提高盐晶纯度，保证回收的盐分符合工业复用的标准<sup>[4]</sup>。

### 3.4 高 COD 抑制结垢的药剂配伍及实时控制策略

高 COD 废水中的有机物会吸附在结晶表面，造成结垢现象加重，影响蒸发结晶的效率和盐晶的纯度，需要通过药剂配伍来达到结垢抑制的目的。药剂配伍采用阻垢剂和分散剂复合使用的方式，阻垢剂选择能与盐分离子形成稳定络合物的类型，抑制晶体生长和团聚，分散剂能分散结晶表面的有机物吸附层，减少结垢沉积。药剂配伍比例要根据废水 COD 浓度和盐分组成动态调节，防止药剂过多造成二次污染，或者药剂不足达不到阻垢效果。实时控制策略依靠对废

水 COD 浓度、结垢速率等参数的在线监测,建立反馈机制,自动调节药剂投加量和工艺参数,当 COD 浓度上升的时候,适当加大分散剂的投加量,当结垢速率变快的时候,改善阻垢剂的配比,保证结垢抑制效果稳定,维持工艺连续运行。

## 4 纺织行业工程应用实践与运行效能评价

### 4.1 典型印染企业废水协同处理系统集成设计

系统集成设计以典型印染企业废水水质特点为基础,按照“适配性、经济性、稳定性”原则将预处理、膜浓缩、蒸发结晶和辅助单元等有机整合在一起,构建起一个完整的协同分离处理系统。预处理单元设混凝反应池、沉淀池、精密过滤器,采用连续式运行方式,保证废水处理量和企业排放量相适应,膜浓缩单元为模块化设计,方便后期扩容和维护,膜组件采用抗污染型,根据废水盐分浓度调节膜组件数量,蒸发结晶单元使用高效蒸发设备,配合余热回收系统,降低能耗,辅助单元包含药剂投加系统、在线监测系统、自控系统,对工艺参数实施实时监测并完成自动调控。根据企业现有的场地情况布置系统,优化管线设计,减少废水输送过程中所消耗的能源和损耗,保证各个单元之间的顺畅衔接,提高整个系统的运行效率。

### 4.2 连续运行中盐回收率与 COD 去除率的协同响应

连续运行时,盐回收率同 COD 去除率存在着明显的协同响应关系,膜浓缩单元分离效果好坏直接决定了两者协同性的高低。膜浓缩单元运行稳定时,盐分透过膜组件进入浓缩液,有机物被有效截留,提高后续蒸发结晶的盐回收率,降低蒸发结晶单元的有机物干扰,COD 去除率提高可以减少有机物对膜组件的污染,延长膜运行周期,进一步提高盐回收率。当废水 COD 浓度发生波动时,盐回收率也会随之同步波动。COD 浓度增大会引起膜污染加重,分离效果变差,盐回收率降低。这时需要调整膜清洗次数和药剂投加量,使膜的分性能得到恢复,从而保持盐回收率和 COD 去除率的共同稳定。

### 4.3 膜污染周期与化学清洗方案的工程优化

膜污染周期的改善依靠调节工艺参数并加强预处理效果。预处理单元的高效除杂能减少膜表面污染物沉积,从而延长膜污染周期。错流速度和操作压力的优化能减少浓差极化和膜损伤,进而推迟膜污染。膜污染后,化学清洗方案要针对性设计。根据膜污染类型选择合适的清洗剂,有机污染用碱性清洗剂,无机污染用酸性清洗剂,防止清洗剂对膜材质造成损害。清洗周期和清洗时间要根据运行数据进行动态调节,防止过度清洗造成膜寿命变短,或者清洗不彻底引发膜污染加重。清洗时保持清洗剂浓度和清洗温度的稳定,保

证清洗效果的同时控制清洗剂用量,减少二次污染风险。

## 4.4 工程经济性分析:吨水能耗、盐资源化收益及减排效益

工程经济性分析主要从吨水能耗、盐资源化收益、减排效益三个方面进行综合评价,吨水能耗包括膜浓缩单元动力消耗和蒸发结晶单元热量消耗,利用余热回收系统和参数优化可以大大降低吨水能耗,提高工程经济效益。盐资源化收益来自回收盐分的工业复用,回收的盐分可以再利用到纺织印染生产过程中染色、固色环节,减少新鲜盐类的采购成本,降低废水中盐分排放造成的环保压力。减排效益主要是 COD 去除带来的水体污染减排,处理后的废水达标排放,减少污染物排放总量,降低企业环保处罚风险,减少水资源消耗,实现水资源循环利用,推动纺织企业绿色低碳生产,提高企业核心竞争力。

## 5 结语

高盐高 COD 废水协同分离技术的优化,关键就是破解各个工艺单元的衔接瓶颈和参数匹配的问题,采用预处理、膜浓缩、蒸发结晶的耦合构型,结合抗污染膜组件优化、参数调控、药剂配伍来实现盐分和有机物的高效分离,提高处理效能和资源化水平。纺织行业工程应用实践证明,经过优化的协同分离系统运行稳定,可以很好地适应纺织印染废水的水质特点,解决传统工艺膜污染严重、盐回收率低、能耗偏高的问题,达到盐资源化回收和 COD 减排的目的。协同分离技术工程应用仍有进一步改善的空间,以后要依靠更多的纺织企业实际工况来改进工艺参数和系统设计,提高技术的适应性和经济性,促进该技术在纺织行业的规模化应用,给行业废水处理和绿色转型提供更好的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 施国忠,张雅琴,张林.聚硅酸复合絮凝剂在典型工业高盐废水深度除氟及协同COD去除中的应用研究[J].水处理技术,2025,51(11):122-128.
- [2] 李福勤,陈宇航,郑斐州,代其彬,田莉,李伟宪.高盐高COD废水电渗析分盐实验及工程应用[J].水处理技术,2026,52(1):108-112.
- [3] 安子韩,高丽丽,单科,张琦,潘春佑,黄鹏飞.面向高盐高COD废水预处理的仿生膜制备及抗污染性能研究[J].盐科学与化工,2026,55(1):42-45+54.
- [4] 刘飞飞,武彦巍,王文涛,唐彤,马海龙.膜技术与蒸发结晶工艺在VB\_(12)高盐废水零排放中的应用[J].工业水处理,2025,45(3):219-226.
- [5] 陈腾,赵茹涵.膜分离技术在化工过程中高盐废水处理与资源回收的关键技术研究[J].山西化工,2025,45(10):257-259.

# Analysis on Centralized Control Operation Technology of Generating Units in Thermal Power Plants

Song Wang

Liaoning Datang International Huludao Thermal Power Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

## Abstract

Under the background of the power system shifting from primarily electricity supply to a balance of supply assurance, peak shaving, frequency regulation, and adaptation to renewable energy fluctuations, the operating modes of thermal power plant generating units have evolved from solely pursuing high output under rated conditions to emphasizing comprehensive control with wide load range, rapid response, stable parameters, and low coal consumption. Centralized control operation no longer merely involves integrating boilers, steam turbines, and electrical equipment into a single monitoring platform, but requires synchronous inclusion of load commands, combustion status, steam-water parameters, cold-end conditions, and environmental constraints into the regulation loop under unified logic. Given the current operational reality where China's coal-fired power continues to bear a significant proportion of power generation capacity, peak load capability, and system regulation capacity, the quality of centralized control operation technology directly impacts the safety margin of units, dispatch adaptability, and actual energy efficiency levels.

## Keywords

thermal power plant; generating unit; centralized control operation; technology; analysis

## 火力发电厂发电机组集控运行技术探析

王松

辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

## 摘要

电力系统由以电量供应为主转向保供、调峰、调频和适应新能源波动并重的背景下, 火力发电厂发电机组的运行方式已经由单纯追求额定工况下的高出力, 转为强调宽负荷、快响应、稳参数和低煤耗的综合控制。集控运行不再只是把锅炉、汽轮机和电气设备接入同一监控平台, 而是要在统一逻辑下把负荷指令、燃烧状态、汽水参数、冷端工况和环保约束同步纳入调节闭环。基于当前中国煤电仍承担大比例发电量、顶峰能力和系统调节能力的运行现实, 集控运行技术的优劣, 直接影响机组的安全边界、调度适应性和实际能效水平。

## 关键词

火力发电厂; 发电机组; 集控运行; 技术; 探析

## 1 引言

近些年, 随着社会各界电能需求量的持续上涨, 火力发电厂面临着严峻的挑战。发电机组集控运行技术可以对火力发电厂的各系统进行统一调配、监督和管理, 可降低火力发电厂生产能耗, 提高生产效率, 保证电力的持续供应。本文从工程可操作角度梳理火力发电厂发电机组集控运行技术应用要点。

## 2 火力发电厂发电机组概述

火力发电厂发电机组是以锅炉、汽轮机和发电机为主体, 通过燃料燃烧释放热量, 将给水加热成高参数蒸汽, 再

推动汽轮机做功并带动发电机输出电能的成套热力装备。就实际看, 机组长期经历了亚临界、超临界、超超临界到二次再热高参数机组的发展过程, 600MW 超临界机组常见蒸汽参数为 24.2MPa、566℃/566℃, 1000MW 超超临界机组已形成 25MPa、600℃/600℃的成熟应用, 630℃等级二次再热示范机组主蒸汽压力已提高到 35.5MPa。对运行岗位而言, 发电机组不是孤立设备, 而是主机、本体辅机、热控保护、环保装置和公用系统共同构成的运行对象, 集控室需要同时掌握锅炉燃烧、给水、汽温、真空、风烟、脱硫脱硝、电气并网和保护联锁等状态<sup>[1]</sup>。随着截至 2025 年底中国发电装机达到 38.9 亿千瓦、煤电继续承担电力系统重要支撑作用, 火电机组运行评价已由单纯看负荷和电量, 转向看灵活性、可靠性和全过程受控能力。

【作者简介】王松(1995-), 男, 中国辽宁鞍山人, 本科, 助理工程师, 从事火电厂集控运行研究。

### 3 火力发电厂发电机组集控运行技术探析

#### 3.1 协调控制系统参数整定技术

机组进入集控运行后,协调控制系统首先决定负荷指令能否平稳转化为锅炉燃烧量、汽轮机调门开度和主汽压力的同步变化,因此运行整定不能停留在“自动能投上”这一层面。第一,运行人员应按机组类型和负荷区间划分控制边界,而不能用一套参数覆盖全工况。国家能源局2025年专项行动已明确,现役机组负荷变化速率应达到0.8%—2.5%额定功率/分钟,新建燃用烟煤的煤粉炉机组在50%及以上、30%—50%负荷区间力争分别达到2.2%、1%额定负荷/分钟,因此集控整定时必须把高负荷段和深调峰段分开设置主控器增益、积分时间和前馈系数。第二,锅炉跟随与汽机跟随方式需要随工况切换。负荷快速上升时,应先检查给煤前馈、送风前馈和一次风压响应是否匹配,再逐步放开汽机侧调门响应;负荷快速下降时,则要限制调门收缩速度,防止主汽压力短时上冲。第三,深调峰工况下必须单独修正滑压曲线和指令限幅<sup>[2]</sup>。现役机组纯凝工况下最小技术出力已要求达到25%或更低,试点示范机组要求达到20%额定负荷以下,如果仍按额定负荷附近的压力基准和阀位特性运行,常会出现锅炉响应慢、汽机响应快、主汽压力来回摆动的情况。第四,整定完成后不能只凭一次升降负荷试验就长期固化参数,运行人员还应通过升负荷、降负荷、稳负荷和扰动恢复四类试验,核查主汽压力偏差、负荷响应时间、阀门迟滞和给煤反馈偏差,发现测点漂移或执行机构卡涩时先处理硬件,再修改控制器参数。与此同时,专项行动还把保供期申报出力达标率不低于98%、非计划停运次数不高于0.3次/台年纳入评价,说明协调控制的目标不仅是跟得快,更是全过程稳定、可控和能长期维持。因此班组在日常运行中要建立参数台账,把不同煤质、不同磨组组合和不同季节冷端条件下的最优整定值分区保存,避免频繁凭经验改值。

#### 3.2 燃烧配风与氧量修正技术

锅炉燃烧控制是集控运行最直接的受控对象,负荷能否跟上、煤耗能否压住、环保参数能否稳定,最终都要落到风煤组织和氧量修正是否准确。第一,运行人员不能把氧量简单理解为越低越经济,而应先根据煤种、水分、挥发分和磨煤机组合确定风煤比。按照GB13223—2011,燃煤锅炉污染物排放浓度折算采用6%的基准氧含量,燃煤锅炉氮氧化物排放限值为100mg/m<sup>3</sup>,重点地区特别排放限值同样为100mg/m<sup>3</sup>,这意味着集控画面上的氧量变化不仅影响燃烧效率,也直接影响排放折算和环保裕量,因此氧量设定不能脱离煤质和负荷单独调整。第二,磨煤机切换时必须同步修正一次风、二次风和燃尽风开度。低负荷运行中若只减煤不调风,常会造成火焰中心偏斜、炉膛出口烟温偏差扩大和局部受热面热偏差增加,所以切磨、启磨和给煤量突变后,应先稳磨出口温度和一次风压,再细调分层配风。第三,环保约束已经成为燃烧控制的一部分。生态环境部工程技术规范

提出,全负荷脱硝设计应通过提升SCR入口烟温或采用宽温度窗口催化剂等方式保证低负荷安全高效运行,宽温度窗口催化剂应能在机组50%以上负荷范围内运行,这就要求集控运行在深调峰时同步关注入口烟温、氧量和NO<sub>x</sub>变化,不能锅炉侧一味压风,导致脱硝入口温度掉得过快。第四,班中精细调整要把煤量、风量、氧量、排烟温度和飞灰含碳作为成组参数处理。煤种变化时先修风煤比,磨组变化时先修氧量偏置,低负荷时先保火焰中心位置和炉膛稳定,再去追求更低的排烟氧量,避免反复大幅修正同一风门,使燃烧自动长期处于来回追踪状态。与此同时,运行人员还要把火检强度、炉膛出口烟温偏差和各层给粉均匀性放在同一判断链条内,先找出燃烧组织失衡点,再决定是修风、修煤还是修氧量,这样处理后,燃烧调整才不会停留在单点经验操作<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 主汽与再热汽温精细调节技术

主汽温和再热汽温控制最能体现集控运行的细致程度,因为高参数机组一旦汽温波动过大,热效率、金属寿命和后续负荷响应都会同时受影响。第一,运行人员在调温时不能长期依赖减温水“压着跑”,而应先判断受热面吸热分配是否已经偏移。有关节能减排技术文件的典型参数显示,常规超临界机组汽轮机参数多为24.2MPa/566℃/566℃,常规超超临界机组典型参数为25—26.25MPa/600℃/600℃,比如浙江长兴660MW机组已提高到28MPa/600℃/620℃,泰州1000MW二次再热机组提高到31MPa/600℃/610℃/610℃,参数越高,汽温波动留下的安全余量越小,因此汽温控制必须从源头稳燃烧、稳烟温,而不是只在末端加减减温水。第二,主汽温和再热汽温的控制机理并不相同。主汽温更容易受煤量、给水温度和主减温水影响,再热汽温则更容易受烟气挡板、燃烧中心和受热面烟温偏差影响,所以集控运行中两套自动回路不能共用一套响应节奏。第三,机组升降负荷特别是连续接受AGC指令时,汽温最容易在数分钟后出现滞后偏差,运行中应将负荷前馈、煤量前馈和减温水修正同时投入,对采用摆动燃烧器或烟气挡板调温的机组,还要检查执行机构动作一致性,避免一侧动作过快、一侧动作滞后。第四,低负荷工况下汽温控制更要讲究节制。国家能源局2025年专项行动提出,现役机组纯凝工况下30%负荷相比额定负荷的供电煤耗增幅原则上不高于25%,说明低负荷运行时如果长期用大减温水维持平直汽温曲线,虽然表面参数好看,实质上会放大宽负荷煤耗,所以运行人员应优先通过磨组组合、配风方式和烟气侧微调保持吸热平衡,再把减温水作为精修手段<sup>[4]</sup>。班中若发现减温水长期高位运行,应先追根溯源,再调回路。

#### 3.4 给水泵组与汽包水位联动控制技术

给水系统和汽包水位控制看似属于常规项目,但在集控运行中最容易因扰动放大而引发锅炉参数失稳,因此这一环节必须把测量、控制和泵组切换放在同一逻辑内处理。第一,汽包水位监视不能只盯一个远传值。国家能源局《防

止电力生产事故的二十五项重点要求》明确，汽包锅炉至少应配置 2 只彼此独立的就地汽包水位计和 3 只远传汽包水位计，并采用 2 种以上工作原理共存的配置方式，这意味着运行人员在水位异常时必须先判断是工况变化、测量失真还是取样系统问题，不能见高就关闭、见低就猛开。第二，水位测量基础条件必须可靠。上述要求同时规定，水位计、水位平衡容器或变送器与汽包连接的取样管至少应有 1 : 100 斜度，取样孔位置还应避开汽包内水汽工况不稳定区，因此机组检修后和长期低负荷运行阶段，集控人员应结合就地水位、给水流量和蒸汽流量做交叉核对。第三，自动调节方式必须随启动过程切换。DL/T1393—2014 适用于额定蒸汽压力 9.8MPa 及以上的汽包锅炉，启动初期蒸汽流量信号不稳定时，应先采用单冲量或简化控制；待蒸汽流量、给水流量测点稳定后，再切至三冲量控制，避免自动刚投入时给水阀来回大幅摆动。第四，保护逻辑和控制逻辑不能混用。对于过热器出口压力 13.5MPa 及以上的锅炉，要求以差压式带压力修正回路的水位计为基准，汽包水位信号采用三选中值方式优选，因此给水泵并列、切泵和再循环阀动作时，运行人员要把稳流量、稳水位和保泵最小流量同时考虑，防止主画面水位看似正常而泵组已经进入不安全小流量区。与此同时，还要把小汽机转速、给水泵出口压力和调门开度余量一起纳入判断链条，不能把水位曲线平稳误认为给水系统整体稳定。只有测量可信、切换有序，水位自动才能真正成为运行助力，而不是新的扰动源。

### 3.5 凝汽器真空与循环水优化控制技术

凝汽器真空和循环水运行组织虽然位于冷端，但它直接影响汽轮机排汽背压、机组热耗和厂用电，因此集控运行不能只在锅炉和主汽参数上用力，而忽视冷端优化。第一，运行人员管理真空时，不能把表计数值越高视为越好，而应结合机组负荷、循环水温度和循环水泵耗电综合判断。以 660MW 机组为例，其主机设计背压为 11kPa，夏季背压为 25kPa，说明真空目标本身就具有明显的季节边界，运行中必须按环境温度和负荷条件分段控制，不能冬季沿用夏季背压判断，也不能高负荷沿用低负荷泵组方式。第二，循环水系统启停顺序要服务于“最佳背压”，而不是盲目多开设备。部分间控空冷工程资料显示，蒸发冷却器启喷温度可设在 31℃，这类阈值的本质就是用环境边界来决定冷端设备

何时加强出力，因此班组应建立按季节、时段和负荷切换的泵组与风机运行曲线。第三，凝汽器清洁状态要纳入集控日常分析。实践表明，冷却塔出口循环水温度若再降低 0.5—2.0℃，汽轮机真空可提高约 1kPa，供电煤耗率可下降 0.5—2g/kWh，这说明真空优化不能只盯抽气器和表计，还要持续关注冷却塔换热效果、凝汽器结垢和循环水分配均匀性。第四，启停机和负荷突变阶段的真空控制更要强调顺序。真空破坏门、轴封供汽、疏水投入和循环水泵切换必须统一节奏，防止冷端扰动反向传递到汽轮机本体，引起排汽温度异常和负荷波动；若发现真空下降与循环水参数变化不同步，应优先排查漏空气、端差扩大和水侧堵塞，而不能只靠增加循环水量掩盖问题<sup>[5]</sup>。与此同时，集控人员还要把热井水位、凝结水泵入口条件和轴封压力一起纳入监视，避免真空问题演变成凝结水系统和汽轮机本体的连锁扰动。只有把冷端运行做细，机组热耗曲线才会真正压下来，并长期保持稳定。

## 4 结语

火力发电厂发电机组集控运行技术的落脚点，不在于把画面做得更复杂，也不在于把自动投入率简单做高，而在于围绕机组当前承担的保供、调峰、快调节和宽负荷运行任务，把协调控制、燃烧控制、汽温控制、给水控制和冷端控制做成彼此衔接的完整运行链条。运行人员只有把参数边界、逻辑切换和工况差异对应起来，才能使集控运行真正体现出中国火电机组当前所要求的安全性、灵活性和实际能效水平。

### 参考文献

- [1] 滕飞.火力发电厂发电机组集控运行技术探析[J].模型世界, 2025(11):121-123.
- [2] 陈执.火力发电厂发电机组集控运行技术探析[J].电脑采购, 2023(35).
- [3] 刘世为.探析电厂集控运行控制模式及应用技术[J].奥秘, 2025(36):10-12.
- [4] 官晨青.火力发电厂集控运行节能降耗技术措施探析[J].工程管理与技术探讨, 2025(8).
- [5] 李海峰.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2024, 6(3).

# Research on the Application of Big Data Collection in Electricity Demand Side Management

Wang Jiao

State Grid Anshan Power Supply Company, Anshan City, Liaoning Province, 114300

## Abstract

With the iterative updating of current Internet information technology, big data based on computer has gradually become the driving force for innovation and development in various fields of modern society. As a key development direction of modern power systems, smart grids integrate various advanced technologies, significantly improving their efficiency, reliability, and sustainability. This article combines the current application of big data in the State Grid to explore in detail the application scope of electricity information collection and big data in demand side management. It systematically elaborates on the core goals and importance of demand side management, and proposes solutions to existing problems. The purpose is to provide experience reference for the power industry to better utilize big data analysis and continuously improve the level of demand side management.

## Keywords

electricity consumption information collection; Big data analysis; Power demand side management; Applied research

# 用电采集大数据在电力需求侧管理的应用研究

王娇

国网鞍山供电公司, 辽宁省鞍山市, 114300

## 摘要

随着当前互联网信息技术的迭代更新, 基于计算机基础的大数据已逐渐成为现代社会各领域创新发展的驱动力。智能电网作为现代电力系统的关键发展方向, 融合了多种先进技术, 其效率、可靠性和可持续性得以显著提升。本文结合当前大数据在国家电网中的应用实际, 详细探讨了用电信息采集大数据在电力需求侧管理中的应用范畴, 系统阐述了电力需求侧管理的核心目标与重要性, 并针对现有问题提出了应对路径, 目的为电力行业更好地利用大数据分析而不断提高需求侧管理水平提供经验参考。

## 关键词

用电信息采集; 大数据分析; 电力需求侧管理; 应用研究

## 1 引言

随着全球能源结构的转型和智能技术的不断进步, 智能电网已经成为电力行业革新的核心。它不仅仅是将电力输送网络升级为一个智能化的系统, 更是通过高度集成的 IT 解决方案, 实现了电力的智能化生产和消费。而传统的电力需求侧管理主要依赖于有限的数据和人工经验作为支撑, 一旦面对日益复杂的电力市场和不断变化的用户需求, 传统的管理模式已显得捉襟见肘。因此, 要契合时代特点不断创新管理方法, 现如今的大数据技术拥有着海量的存储能力, 能够依托信息化技术进行快速的处理和精准的分析, 为电力需求侧管理带来了革命性的变革。

## 2 电力需求侧管理的概念与核心目标

“随着能源需求的增加, 电力系统高效运行对经济与环境的可持续发展至关重要<sup>[1]</sup>。”电力需求侧管理是指利用政策引导、经济激励和技术支持的综合手段, 对电力用户的用电行为进行优化调控, 目的为实现电力资源的高效配置。其核心是在保障电力用户合理需求的前提下, 引领用户及时调整用电时间, 得以优化用电结构, 从而提高用电效率, 最终平衡电力供需, 降低资源消耗, 大幅度提高电力系统稳定性。该管理模式涉及到政府、电力企业和第三方主体, 同时也融合了政策、经济和技术等多维度措施, 目的在于构建供需协调、高效低碳的电力消费体系。因此, 是现代电力系统运行与能源可持续发展的重要组成部分。

电力需求侧管理的核心目标是提高电力系统整体效率与稳定性, 基于有效策略来平滑负荷曲线, 以减少峰谷差, 从而降低发电成本与资源浪费, 保障电力供应的可靠性和经

【作者简介】王娇 (1991-), 女, 满族, 中国辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 从事采集运维研究。

济性。具体而言，其利用数据来分析掌握用户用电行为与需求，然后进行适时的需求预测，依托节能技术和智能设备提供有效支撑，因此，该管理模式是一套利用优化配置和改善用户行为的方式来实现供需平衡。

### 3 用电信息采集大数据应用面临的挑战

#### 3.1 数据质量问题

“加强客户需求侧管理，无疑是未来推动电力系统进一步发展的必然选择。”当前，用电信息的数据来源广泛，“在电力系统中，大数据主要来源于智能电表、传感器监控设备、气象站以及用户端设备。这些数据覆盖了电力生产、传输、分配及消费的各个环节<sup>[2]</sup>。”且数据格式多样，标准不统一，极大的增加了数据清洗和整合的难度。加之现如今的电力系统运行环境复杂，比较容易受到电磁干扰和设备故障的因素影响，令采集到的数据存在噪声波动，在一定程度上降低了数据的准确性和可靠性。而且，数据更新的及时性难以保障，相当一部分历史数据未能得到及时更新，且时效性不足，较难精准反映当前电力系统运行状态和用户用电情况，最终影响到了大数据的分析结果和应用效果。

#### 3.2 数据安全和隐私保护

用电信息采集集中包含了大量用户的隐私信息，因此在收集、存储、传输和使用环节存在安全风险。首先，网络攻击、黑客入侵等恶意为令数据泄露，侵害用户权益。其次，用户数据的收集、存储、管理和使用方面同样缺少常态化的规范监管，大多依赖于企业的自律，在一定程度上必然存在滥用风险。最后，当前的电力企业地域覆盖广，存在防护体系建设不平衡和信息安全水平不一致的问题，进一步加剧了数据安全管理难度。因此，如何在保障安全的前提下合理利用数据开展需求侧管理，已然成为电力企业急需解决的问题。

#### 3.3 技术实施难度

在大数据技术的实施方面问题重大。第一，随着社会的发展，电力使用数据呈现爆发式的增长趋势，令现有的系统架构和硬件设备无法满足即时需求。而且，用电侧信息化系统对数据存储颗粒度小、时间要求长，对数据存储处理、交换和网络传输方面提出了更高标准。当前的技术架构无法高效处理大规模且高复杂度的数据，需要升级硬件并采用先进技术来提高系统效率和稳定性。第二，当前大数据的分析算法和模型开发应用需要专业人才进行研发维护，但是电力行业人才大多集中在维护和后期保障，基于计算机前端的应用开发人才极度匮乏，一定程度上势必会制约大数据技术的常态化应用。

## 4 用电信息采集大数据在电力需求侧管理中的应用场景

#### 4.1 精准电力负荷预测

“传统的负荷管理终端在数据采集实时性、控制功能

准确性和可靠性方面已不能满足新型电力负荷管理系统的需求<sup>[3]</sup>。”精准电力负荷预测是电力需求侧管理的重中之重，为此可依托用电信息采集系统及时获取的大量的历史用电数据，其中要涵盖不同用户类型在不同时间尺度的用电情况并结合天气、节假日进而经济发展指标的多维度数据，运用时间序列分析、神经网络，乃至支持向量的大数据分析算法来建立高精度的预测模型。此类模型致力于准预测未来的电力负荷变化，目的是为了帮助电力企业合理安排发电计划、优化电网调度，以提前做好供应准备，从而降低电力系统运行成本，不断提高供电的可靠性和稳定性，以充足的保障来有效应对电力需求的不确定性。

#### 4.2 用户用电行为分析

基于用电信息采集的大数据分析技术可深度挖掘用户用电模式和行为习惯。可利用聚类分析手段，按用电特征来对用户进行精准分类，然后据此来制定个性化的服务和营销策略，可大幅度提高企业效益。比如，针对峰谷差明显的用户可尝试推荐分时电价，试着引领错峰用电来平衡电网负荷。与此同时，要持续监测用电行为变化，以便及时识别设备故障，乃至窃电的异常情况，尽全力保障电力系统的安全稳定。总之，对于用户用电行为的分析既可以为用户提供准确的用电指导，帮助用户降低生活成本，也能电力企业不断优化资源配置、提高管理效率奠定基础，是实现供需协同的关键。

#### 4.3 电力需求响应优化

当前，用户的电力需求响应是电力需求侧管理的重要方式，可以尝试通过激励用户在电力供应紧张或电价较高时来减少用电，或者在供应充裕或电价较低时来增加用电量，力争实现供需的动态平衡。“电力需求侧管理对于促进绿色能源发展、保障电网稳定运行有着重要作用，但随着大数据时代的到来，传统模式电力需求侧管理面临着诸多挑战，需要进一步变革与创新。”为此，基于用电信息采集的大数据分析技术可以助力企业精准分析用户的用电数据，科学评估不同用户对价格信号或激励措施的响应潜力和敏感度，最终确定参与群体和可调节的负荷量。然后再依据实时的供需和市场价格信号，及时向用户发送个性化的用电调整引导，同时借助大数据的实时监测响应情况，及时评估用户反馈并优化策略，从而降低电力系统的峰谷差，致力于提高整体的运行效率。综上所述，这一过程能够充分发挥大数据在精准化和动态化管理中的优势，最终让用户的需求响应更具实效性。

#### 4.4 节能与能效管理

用电信息采集大数据在电力节能与能效管理中的应用范畴十分广泛。比如针对工业用户，大数据能细致分析生产设备的能耗特征，识别高耗能设备或工艺环节，进而提供对于设备更新、流程优化节能的改造方案。当面向商业用户，基于大数据的分析可以分析固定设备的用电规律，给出负荷

调控建议来降低能耗。而对于居民用户，可以及时依据家电用数据来推荐节能化产品，并提供如合理设置电器参数的个性化节能指引。

综上所述，借助大数据技术可对各类节能项目的实施过程进行全周期的跟踪，然后基于对比项目实施前后的能耗数据，从而科学量化节能效果，最终为节能政策的制定与推广提供数据支撑。

## 5 用电信息采集大数据应用的策略

### 5.1 构建完善的数据处理与分析体系

完善的数据处理与分析体系是采集效率的重要保障。为此要从数据全生命周期管理入手。第一，要制定覆盖数据采集、存储、传输和分析全流程的统一标准和规范，并针对不同数据源的格式差异而建立起快速的适配转换机制，力保跨系统数据的兼容性与一致性，第二，要强化数据的清洗环节的技术投入，及时结合智能校验算法和人工复核机制，做到精准的问题识别，第一时间修正错误和异常值，在此基础上，建立起数据的质量动态评估模型，持续优化数据纯净度。第三，依托分布式架构尝试搭建一体化的大数据平台，利用接口的标准化来实现各类业务系统数据的无缝集成和集中存储，同时部署边缘计算节点，不断提高实时数据的处理能力，保障数据时效性。第四，在分析层面，企业要结合电力负荷和用户行为规律的行业特征，做到定向研发负荷预测和需求响应的场景化算法模型，保障第一时间完善数据分析的流程和成果转化机制，最终确保数据的洞察能够高效转化为需求侧管理的决策依据。

### 5.2 强化数据安全和隐私保护机制

对于强化数据安全和用户的隐私保护机制要同时打造技术与管理的多重防线。第一，在技术层面，可以采用“端到端”的加密技术来覆盖数据的全生命周期，对于存储环节而言要运用量子加密，甚至是区块链先进技术来保障数据的不可篡改性。在传输过程中要通过虚拟专用的网络（VPN）和加密协议共同建立安全通道。第二，要打造动态的访问控制体系，结合角色权限管理（RBAC）和多因素的认证技术，力争实现数据访问的精细化管控，同时部署智能入侵检测系统和态势感知平台，做到实时的监测网络异常行为，再利用AI算法来预判潜在的攻击风险。第三，对于管理层面而言，要构建覆盖数据采集、存储、使用和销毁的全流程管理制度，第一时间确定各个环节的责任主体和相应的操作规范，把数据的安全纳入员工绩效考核体系，然后定期开展分级分类的

安全培训，及时针对一线运维人员强化应急处置演练，对管理层要侧重合规风险意识的培养。第四，要尝试联合监管部门搭建跨区域的协同监管平台，建立数据安全事件的通报和追责机制，引入“数据审查”的第三方机构开展定期安全审计，最终形成“技术防护+制度约束+监管监督”的立体化防护体系。

### 5.3 提高大数据技术的实施能力

提高大数据技术的实施能力需要从电力基础设施的升级、大数级技术的融合创新及产学研协同三方面系统推进。第一，要加大信息化的基建投入，针对电力数据爆发式增长特点，要对现有架构进行分布式改造，尝试采用HDFS分布式存储技术来建立多节点冗余的存储体系，再结合MapReduce等并行计算框架来大幅度提高海量数据处理效率。必要的情况下，要利用硬件集群化部署的方式不断增强系统的扩展性和容错能力。第二，要积极推动新兴技术和电力业务的深度融合，尝试依托云计算平台来实现计算资源的弹性调度，做到动态匹配需求侧管理的算力波动。第三，及时部署边缘计算节点在变电站和用户侧，以便形成本地化的数据处理单元，致力于减少核心网传输压力并提高实时分析的响应速度。第四，持续强化跨领域合作机制，可与高校共建电力大数据联合实验室，重点侧重负荷预测的算法优化和异构数据的融合技术来开展集中攻关，也可尝试联合科技企业开发适配电力场景的专用分析工具，全面增强数据在电力需求侧管理中的落地实效。

## 6 结论

用电信息采集的大数据为当前电力需求侧管理提供了全新的技术支撑与发展路径。基于精准的负荷预测，用户用电的行为分析及需求响应优化等具体场景的应用，可大幅度提高电力系统效率，从而平衡供需关系，降低运营成本。未来，要进一步完善数据的处理体系、不断强化数据分析中的安全防护，着实推动大数据和电力业务深度融合。最终为电力行业的可持续发展提供有力保障。

### 参考文献

- [1] 李亚楠.电力营销信息化对电力需求侧管理的促进作用[J].中国管理信息化.2025,28(15): 67-68.
- [2] 吴敏慧.基于大数据分析的电力需求响应管理效率提升研究[J].智能物联技术.2024,56(06): 121-124.
- [3] 张雷.电力负荷管理分支装置的设计与实现[J].自动化仪表.2025,46(05): 36-39.