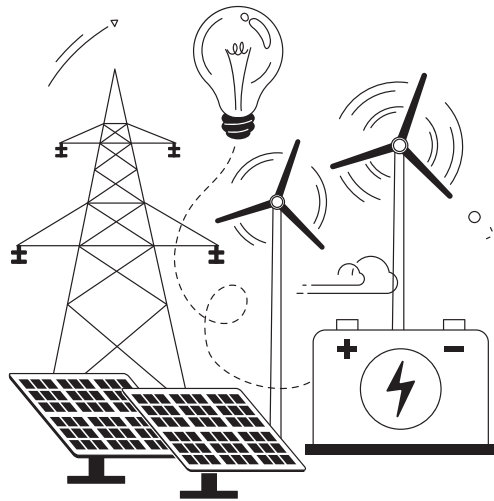


# 电力技术 与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## 编委 Editorial Board Member

贺喜巴特尔, 内蒙古能源发电杭锦发电有限公司

Bateer Hexi, Inner Mongolia Energy Power Generation Hangjin Power Generation Co., Ltd.

莫日更高娃, 内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司

Gaowa Morigeng, Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., LTD. Ordos Power Supply Branch

王娟, 内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电公司

Juan Wang, Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., LTD. Ordos Power Supply Branch

谢超善, 北京必可测科技股份有限公司

Chaoshan Xie, Beijing BKC Technology Co., Ltd.

# 电力技术与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management

第1卷 第7期 2024年10月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《电力技术与安全管理》编辑部

ISSN(O): 2997-3503

ISSN(P): 2997-3473

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey  
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权  
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事  
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、  
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著  
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将  
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单  
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作  
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



## 电力工程 | POWER ENGINEERING

- 005 基于大数据的光伏电站运维管理创新模式研究 方伟, 王轩  
Research on the Innovation Mode of Photovoltaic Power Station Operation and  
Maintenance Management Based on Big Data Fang Wei, Wang Xuan
- 008 核电厂运行风险评估与管理策略研究 文鹏, 孙志永  
Research on the Operation Risk Assessment and Management Strategy  
of Nuclear Power Plant Wen Peng, Sun Zhiyong
- 011 UPS电容寿命探讨分析 何绍文  
Discussion and Analysis of UPS Capacitor Life He Shaowen
- 014 火电工程管理中的风险分析与控制策略研究 吴波  
Risk Analysis and Control Strategy Research in Thermal  
Power Engineering Management Wu Bo
- 017 电力工程线路电气施工安全风险识别及预控体系构建 杨萌  
Construction of the Safety Risk Identification and Pre-Control System for the  
Electrical Construction of Electric Power Engineering Lines Yang Meng
- 020 分布式光伏电站的高效运维策略探索 肖政  
Exploration of Efficient Operation and Maintenance Strategies  
for Distributed Photovoltaic Power Stations Xiao Zheng
- 023 电气工程自动化在电力系统运行中的应用 汤卓  
Application of Electrical Engineering Automation  
in Power System Operation Tang Zhuo
- 026 特种电缆在极端环境下的可靠性分析 周春和  
Reliability Analysis of Special Cables in Extreme Environments Zhou Chunhe
- 029 电力市场营销策略研究 邓晓伟  
Research on Marketing Strategies in the Electricity Market Deng Xiaowei
- 032 新能源接入对电气工程系统的影响 党继平, 唐俊  
The impact of New Energy Access  
on the Electrical Engineering System Dang Jiping, Tang Jun

## 电力系统 | POWER SYSTEM

- 035 光伏与风电并网系统的运行稳定性评估 王轩, 黄骏  
Evaluation of the Operation Stability of the Photovoltaic and  
Wind Power Grid-Connected System Wang Xuan, Huang Jun
- 038 工业自动化产线的电气设备智能维护系统构建 李乐  
Construction of Electrical Equipment Intelligent Maintenance System  
of Industrial Automation Production Line Li Le
- 041 电厂燃料智能化管理体系的  
架构设计与技术实现 赵运亮, 杨大为, 刘世翔, 房磊, 贾治中  
Architecture Design and Technical Implementation  
of Intelligent Fuel Management System  
for Power Plants Zhao Yunliang, Yang Dawei, Liu Shixiang, Fang Lei, Jia Zhizhong
- 044 热工参数仪表测量技术与DCS系统的协同应用 周锦扬, 王鑫, 马全秀  
Collaborative Application Of Thermal Parameter Instrument Measurement  
Technology and DCS System Zhou Jinyang, Wang Xin, Ma Quanxiu

技术研究 | TECHNICAL RESEARCH

047	热电厂热控专业热工信号干扰问题及解决办法 Thermal Power Plant Thermal Control Professional Thermal Signal Interference Problem and Solutions	李振鑫, 李建伟, 樊权乐 Li Zhenxin, Li Jianwei, Fan Quanle
050	电力变压器状态检修技术的智能化应用与发展趋势 Intelligent Application and Development Trend of State Maintenance Technology for Power Transformers	王达 Wang Da
053	智能电网背景下电气设备的运维与管理 Operation and Maintenance of Electrical Equipment in the Context Of Smart Grids	李全成 Li Quancheng
056	基于大数据分析的火电厂设备故障智能诊断与预测研究 Research on Intelligent Diagnosis and Prediction of Equipment Faults in Thermal Power Plants Based on Big Data Analysis	王媛 Wang Yuan
059	电厂锅炉检修特点及其安全管理问题分析 Analysis of Maintenance Characteristics and Safety Management Issues of Power Plant Boilers	王光辉 Wang Guanghui
062	风电设备运行故障预测与健康管理方法研究 Research on the Operation Failure Prediction and Health Management Methods of Wind Power Equipment	黄骏, 方伟 Huang Jun, Fang Wei
065	新能源背景下火电厂基建转型的战略规划与技术突破 Strategic Planning and Technological Breakthroughs for the Infrastructure Transformation of Thermal Power Plants in the Context of New Energy	李冠阳 Li Guanyang
068	风电项目智慧场站的安全生产与风险管理 Safety Production and Risk Management of Smart Stations for Wind Power Projects	袁嘉欣 Yuan Jiaxin
071	10 kV 及以下电力配网工程施工技术研究 Study on Construction Technology of 10 kV and Below Power Distribution Network Engineering	李振华 Li Zhenhua
074	智能电网技术在电力营销中的应用与前景 Application and Prospects of Smart Grid Technology in Electric Power Marketing	张帆 Zhang Fan
077	电气工程中新能源并网技术与电网适应性研究 Research on New Energy Grid Connection Technology and Grid Adaptability in Electrical Engineering	郝浚玮 Hao Junwei
080	基于泛在电力物联网的风电运维管理技术探索 Exploration of Wind Power Operation and Maintenance Management Technology Based on Ubiquitous Power Internet of Things	曹玲燕 Cao Lingyan
083	火电厂集控运行技术的相关问题分析 Analysis of Relevant Issues in Centralized Control Operation Technology of Thermal Power Plants	赵希光 Zhao Xiguang
086	中速辊式磨煤机常见故障分析及解决办法 Common Fault Analysis and Solution of Medium-speed Roller Coal Mill	李瑶, 黄帅, 王宁, 郭佳, 陈佳启 Li Yao, Huang Shuai, Wang Ning, Guo Jia, Chen Jiaqi
089	基于深度学习的可变电子交通标志牌的安全性及可靠性研究 Design of Variable Electronic Traffic Signs Based on Deep Learning Research on Safety and Reliability	刘原志, 王柯璇, 王荣锦, 王嘉明 LiuYuanzhi, Wang Kexuan, Wang Rongjin, Wang Jiaming
092	多功能智能床的设计 The Design of a Multi-Functional Smart Bed	陈轩, 杨颖, 杨士娟, 吴晗宇, 尹元航, 艾卓恒 Chen Xuan, Yang Ying, Yang Shijuan, Wu Hanyu, Yin Yuanhang, Ai Zhuoheng
095	光伏发电站建设中的关键技术与质量把控 Key Technologies and Quality Control in the Construction of Photovoltaic Power Stations	秦中军 Qin Zhongjun
098	智能技术助力国网营销稽查监控升级 Smart Technology Empowers the Upgrade of State Grid Marketing Inspection and Monitoring	赵梦琳 Zhao Menglin
101	智能燃料识别与分类技术的研发及其在电厂的应用 Research and Development of Intelligent Fuel Identification and Classification Technology and Its Application in Power Plants	张玉俊, 吕锦沛, 赵运亮, 柳雨萌, 贺伟 Zhang Yujun , Lv Jinpei , Zhao Yunliang , Liu Yumeng , He Wei
104	变电站电气设备安装与调试关键技术探讨 Key Technology Discussion on Installation and Commissioning of Electrical Equipment in Substation	武佳鹏 Wu Jiapeng
107	数字化技术在核电运行管理中的实践探索 Practice and Exploration of Digital Technology in Nuclear Power Operation and Management	何永华 He Yonghua

# 基于大数据的光伏电站运维管理创新模式研究

方伟, 王轩\*

国电投长江生态能源有限公司, 湖北 武汉 430000

**摘 要：** 随着全球对清洁能源需求的不断增长，光伏电站作为可再生能源的重要组成部分，其运维管理的重要性日益凸显。本文提出了一种基于大数据的光伏电站运维管理创新模式，该模式利用物联网、大数据、人工智能等先进技术，结合无人机巡检、传感器网络和远程监控等手段，实现对光伏电站的全面智能化管理和运维。该模式能够显著提高电站的运营效率，减少维护成本，延长设备寿命，并优化电站的发电收益。本文还探讨了该模式在光伏电站运维管理中的实际应用和未来发展趋势，为新能源（光伏、风电）项目的安全生产管理和户用光伏建设的工程管理提供了有价值的参考。

**关 键 词：** 大数据；光伏电站；运维管理

## Research on the Innovation Mode of Photovoltaic Power Station Operation and Maintenance Management Based on Big Data

Fang Wei, Wang Xuan\*

China Power Investment Yangtze River Ecological Energy Co., LTD. Wuhan, Hubei 430000

**Abstract：** With the growing global demand for clean energy, as an important part of renewable energy, the importance of photovoltaic power station operation and maintenance management is becoming increasingly prominent. This paper puts forward an innovative mode of operation and maintenance management of photovoltaic power stations based on big data. This mode uses advanced technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, combined with uav inspection, sensor network and remote monitoring, to realize the comprehensive intelligent management, operation and maintenance of photovoltaic power stations. This model can significantly improve the operating efficiency of the power station, reduce maintenance costs, extend equipment life, and optimize the generation benefits of the power station. This paper also discusses the practical application and future development trend of this mode in the operation and maintenance management of photovoltaic power stations, which provides a valuable reference for the safety production management of new energy (photovoltaic and wind power) projects and the project management of household photovoltaic construction.

**Keywords：** big data; photovoltaic power station; operation and maintenance management

随着可再生能源政策的不断推进以及技术的发展，太阳能发电已经成为全球增长最快的能源之一。然而，光伏电站在运行过程中可能会出现各种故障和问题，这就需要对其进行有效的运维管理。传统的光伏电站运维模式在面对大规模、分散式光伏电站时存在一定的局限性，因此，对运维模式进行创新显得尤为必要。

## 一、基于大数据的光伏电站运维管理创新模式

### （一）模式概述

基于大数据的光伏电站运维管理创新模式，是一种集成了多项先进技术的综合性运维方案。该模式充分利用物联网、大数据、人工智能等前沿科技，结合无人机巡检、传感器网络和远程监控等先进手段，为光伏电站提供全面、智能化的管理和运维服务。通过物联网技术，实现光伏电站设备的互联互通，实时采集并传输设备状态数据。大数据平台则对这些海量数据进行深度挖

掘与分析，揭示数据背后的规律与趋势，为运维决策提供科学依据。同时，人工智能技术的应用，进一步提升了运维工作的智能化水平，实现了设备故障的精准识别与预测性维护。这一创新模式不仅显著提高了光伏电站的运维效率与准确性，还降低了运维成本，推动了光伏电站运维管理的现代化转型。

### （二）系统构成

基于大数据的光伏电站运维管理创新模式主要由以下几个核心部分组成，首先是数据采集与监控系统，它负责实时采集光伏电站内各类设备的运行状态数据，并进行初步处理与监控。其次是远程监控

作者简介：方伟（1992-），男，汉族，湖北省十堰市人，大专，研究方向：光伏、风电运行管理；

通讯作者：王轩（1989-），男，汉族，江苏省盐城市人，本科，研究方向：光伏、风电运行管理，邮箱：443530777@qq.com

平台，该平台通过集成各类监控数据，实现光伏电站的远程实时查看与管理，运维人员无需亲临现场即可掌握电站运行状况。智能诊断与分析系统则利用大数据与人工智能技术，对采集到的数据进行深度挖掘与分析，实现设备故障的精准识别与性能优化的建议<sup>[1]</sup>。此外，无人机巡检系统作为该模式的重要组成部分，能够定期对光伏电站进行高空巡检，及时发现并报告潜在问题，为运维决策提供重要参考。这些部分共同协作，实现了光伏电站的全面智能化运维管理。

### （三）功能特点

基于大数据的光伏电站运维管理创新模式展现了诸多功能特点。该模式通过数据采集与实时监控系统，能够全面且实时地捕获光伏电站的设备状态、环境参数及运行数据，为运维决策提供坚实的数据支撑。在此基础上，系统融入了自动化故障诊断功能，借助智能算法深度分析采集的数据，精准识别设备故障，显著提升了故障诊断的准确性和效率。更进一步，系统还具备预测性维护能力，依据历史数据和当前设备运行状态，科学预测故障发生趋势，提前规划维护计划，有效降低了设备故障率，延长了设备使用寿命。此外，远程监控与报警功能使得运维人员无需亲临现场，即可实时掌握电站运行状况，一旦检测到异常或故障，系统会立即触发报警信息，确保运维团队能够迅速响应并处理。最后，数据可视化与报告功能将复杂的数据转化为直观的图表和报告，为电站管理者 and 决策者提供了清晰、易懂的参考依据，助力他们做出更加明智的决策<sup>[2]</sup>。这些功能特点共同构成了基于大数据的光伏电站运维管理创新模式的强大优势。

### （四）应用优势

基于大数据的光伏电站运维管理创新模式展现出显著的应用优势。该模式通过自动化与智能化管理手段，大幅减少了人工干预，有效提升了电站运维效率。同时，预测性维护和智能调度策略的应用，不仅降低了设备故障率，还减少了不必要的维护成本，通过精细化管理和优化电站运行与维护策略，运维成本得到了显著降低。在发电量方面，该模式通过优化电站运行参数，及时清理遮挡物，确保光伏组件处于最佳工作状态，并自动调节电池充放电时间和频率，实现最大功率点跟踪，从而显著提高了光伏发电系统的效率和可靠性，增加了发电量。此外，实时监控和报警功能的应用，使得安全隐患能够被及时发现并处理，进一步提升了电站的安全性。值得一提的是，该模式还具备出色的可扩展性，系统能够根据实际需求进行灵活扩展和升级，支持多种光伏电池和储能设备的接入与管理，同时，它还能与其他智能系统进行无缝集成和互联操作，为实现能源互联网的构建和优化提供了有力支持<sup>[3]</sup>。这些应用优势共同体现了基于大数据的光伏电站运维管理创新模式在提升运维效率、降低成本、增加发电量、保障安全以及促进能源互联网发展方面的卓越价值。

## 二、基于大数据的光伏电站运维管理创新模式的实际应用

### （一）数据采集与整合

在光伏电站运维管理中，数据采集与整合是确保运维决策科

学性的基础。为了全面且准确地获取光伏电站的运行数据，首先需要优化数据采集设备，确保其具备高精度、高稳定性以及良好的适应性，能够实时捕捉并传输设备的运行状态、环境参数等关键信息。同时，完善数据采集标准也至关重要，通过制定统一的数据采集规范，确保不同设备、不同系统间的数据能够顺畅交互，为后续的数据整合与分析奠定坚实基础。在数据采集的基础上，利用大数据技术对这些海量数据进行深度整合与分析是挖掘数据价值的关键。通过大数据平台，将来自不同渠道、不同格式的数据进行统一处理与存储，运用先进的算法与模型对数据进行挖掘与分析，揭示数据背后的规律与趋势，为光伏电站的运维决策提供有力支持<sup>[4]</sup>。这一过程不仅能够提升运维效率，还能降低运维成本，推动光伏电站运维管理的智能化与精细化发展。

### （二）提升系统智能化水平

在光伏电站运维管理中，提升系统智能化水平是推动运维效率与准确性迈向新高度的关键。为此，可以积极借助人工智能、机器学习等前沿技术，对智能化运维系统的算法与模型进行持续优化。具体而言，可以通过引入先进的 AI 技术，实现光伏电站设备的智能识别。利用深度学习等算法，对设备图像、运行数据等进行精准分析，实现设备的快速、准确识别，为运维工作提供有力支持。在故障诊断方面，机器学习算法的应用能够显著提升故障识别的准确性与效率。通过对历史故障数据的深度学习，系统能够自动建立故障识别模型，实现对设备故障的实时预警与精准定位，为快速修复提供科学依据。此外，预测性维护也是提升系统智能化水平的重要一环<sup>[5]</sup>。借助大数据与 AI 技术，对设备运行数据进行深度挖掘与分析，构建设备寿命预测模型，实现设备故障的提前预判与维护计划的科学制定，从而有效降低设备故障率，延长设备使用寿命。

### （三）加强运维人员培训

为了保障光伏电站运维管理的质量和效率，必须重视运维人员的专业素养和技能水平提升。为此，应定期对运维人员进行信息技术和数据分析能力的培训。培训内容应涵盖最新的信息技术知识、数据分析方法和工具使用等方面，帮助运维人员掌握最新的技术手段，提升他们的数据处理和分析能力。通过培训，运维人员能够更好地理解和运用智能化运维系统，提高运维工作的效率和质量。同时，为了激发运维人员的学习积极性，还应建立相应的激励机制。例如，设立学习奖励制度，对在培训中表现优秀或在工作中积极应用新技术的运维人员给予表彰和奖励<sup>[6]</sup>。这样不仅能够激励运维人员不断提升自己的技能水平，还能够促进新技术在光伏电站运维管理中的广泛应用。

## 三、基于大数据的光伏电站运维管理创新模式的未来发展趋势

### （一）智能化程度不断提高

随着人工智能与大数据技术的持续进步，智能化运维系统在光伏电站管理中的应用将愈发广泛且深入。这些技术的革新将直接推动智能化运维系统的智能化程度和准确性迈向新高度。展望



未来，智能化运维系统有望实现设备监测的超高精度，通过实时捕捉和分析设备运行的细微变化，及时发现潜在问题。在故障诊断方面，系统将更加智能地识别故障类型、原因及影响范围，为快速修复提供有力支持。同时，预测性维护功能也将得到显著增强，系统能够根据历史数据和当前状态，精准预测设备未来的维护需求，从而有效避免故障发生，保障光伏电站的稳定运行<sup>[7]</sup>。这一趋势不仅将大幅提升光伏电站的运维效率，还将进一步降低运维成本，推动整个新能源行业的智能化升级。

### （二）运维成本进一步降低

智能化运维技术的普及与应用，正在深刻改变光伏电站的运维模式，其中一个显著成效便是运维成本的显著降低。通过智能化手段，运维工作得以更加精准、高效地执行，减少了不必要的人力与物力投入，从而有效控制了运维成本。不仅如此，智能化运维还带来了光伏电站发电效率和设备利用率的双重提升。系统能够实时监测设备状态，及时调整运行参数，确保设备始终保持在最佳工作状态。同时，通过预测性维护，有效避免了设备突发故障导致的停机损失，进一步提升了电站的整体发电效率<sup>[8]</sup>。这一系列积极变化，为光伏电站带来了更高的经济效益。在成本降低与效率提升的双重驱动下，光伏电站的盈利能力显著增强，为新能源行业的可持续发展注入了强劲动力。

### （三）运维模式不断创新

光伏电站智能化运维的未来，将见证运维模式的多元化创新与发展。其中，基于云计算的远程运维模式将凭借高效的数据处理与存储能力，实现运维工作的跨地域、实时协同，显著提升运维响应速度与问题解决效率。同时，基于物联网的分布式运维模式也将成为重要趋势。通过物联网技术，将光伏电站的各类设备

与系统紧密连接，实现设备状态的实时监控与数据共享，使得运维工作能够更加精准地定位到具体设备与环节，降低运维成本，提高运维效率<sup>[9]</sup>。这些创新运维模式的涌现，不仅将推动光伏电站运维管理的智能化水平迈上新台阶，还将为整个新能源行业的运维模式变革提供有益借鉴与启示。

### （四）跨界融合成为常态

在能源互联网蓬勃发展的背景下，光伏电站智能化运维正逐步与智能电网、储能系统等关键领域实现深度融合。这一跨界融合趋势，不仅拓宽了光伏电站运维的服务范畴，还为其带来了更为全面、高效的运维解决方案。通过与智能电网的紧密连接，光伏电站能够实时获取电网运行状态与调度信息，实现运维策略的优化调整，确保电力供应的稳定可靠。同时，与储能系统的协同配合，则进一步提升了光伏电站的能源利用效率与应对突发状况的能力<sup>[10]</sup>。这一跨界融合的新常态，不仅推动了光伏电站运维管理的智能化升级，更为整个能源行业的转型升级注入了强劲动力，助力构建更加绿色、高效、智能的能源体系。

## 四、结论

基于大数据的光伏电站运维管理创新模式，能够显著提高光伏电站的运营效率，降低运维成本，提升发电量，并保障电站的安全稳定运行。随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，该模式将在未来发挥更加重要的作用。对于从事新能源（光伏、风电）项目安全生产管理和户用光伏建设的工程管理人员来说，了解并掌握这一创新模式，将有助于更好地推动新能源行业的发展。

## 参考文献

- [1]李会骞,吕学坤,王兴春,等.基于大数据的光伏电站智能运维技术研究[J].光源与照明,2024,(09):131-133.
- [2]李金伟,高鹏,王文帅.光伏电站智慧化运维设计[J].红水河,2024,43(04):59-64.
- [3]张泽成,张宗旭,王家坤,等.光伏电站智慧型监控管理系统的探索[J].自动化博览,2024,41(08):76-81.
- [4]史轶.光伏电站智能监控系统设计与应用[J].智能物联技术,2024,56(02):101-105.
- [5]张宏伟,龚优军,王洛南,等.光伏电站的智能运维技术应用研究[J].通讯世界,2024,31(02):106-108.
- [6]王恒.光伏电站建设平台的开发和应用[J].电子元器件与信息技术,2023,7(12):36-39.
- [7]高志强,向东,杨培友,等.智能光伏电站开发及运维管理体系的构建与实施[J].化工管理,2023,(S1):115-122.
- [8]顾炜晨.分布式光伏电站运维管理的发展趋势[J].自动化应用,2023,64(03):58-61.
- [9]杨洪雷.分布式光伏电站运维管理与发展趋势[J].上海节能,2022,(09):1137-1142.
- [10]滕玉良,李宝鹏,王天慧,等.光伏电站智能运维的现状与发展趋势[J].中国战略新兴产业,2022,(12):56-58.

# 核电厂运行风险评估与管理策略研究

文鹏, 孙志永

阳江核电有限公司, 广东 阳江 529500

**摘要：**现阶段随着全球能源需求的不断增长，核能作为一种清洁、高效的能源形式，其已经在世界范围内得到了广泛的应用。然而核电厂的运行存在一定的风险。由于其存在潜在性、复杂性、严重性和长期性等，因而为了确保核电厂的安全运行，相关人员必须对其运行风险进行全面评估，并对其采取有效的管理策略。本文首先概述了核电厂运行风险的内涵和特点，然后再介绍了常见的核电厂运行风险评估方法，其中包括故障树分析、事件树分析、失效模式与影响分析和概率安全分析等。接着文章还对核电厂运行风险因素进行了深入分析，同时还针对不同的风险因素提出了相应的应对措施，希望能够为核电厂的安全运行提供有益的参考。

**关键词：**核电厂；运行风险；风险评估；风险管理

## Research on the Operation Risk Assessment and Management Strategy of Nuclear Power Plant

Wen Peng, Sun Zhiyong

Yangjiang Nuclear Power Co., LTD. Yangjiang, Guangdong 529500

**Abstract：** Nowadays, with the increasing global energy demand, nuclear energy, as a clean and efficient form of energy, has been widely used in the world. However, there are some risks to the operation of nuclear power plants. Due to its potential, complexity, seriousness and long-term nature, in order to ensure the safe operation of nuclear power plants, relevant personnel must make a comprehensive assessment of their operation risks and adopt effective management strategies for them. This paper first summarizes the connotation and characteristics of nuclear power plant operation risk, and then introduces the common methods of nuclear power plant operation risk assessment, including fault tree analysis, event tree analysis, failure mode and impact analysis, and probability safety analysis. Then the article also makes an in-depth analysis of the risk factors of nuclear power plant operation, and also puts forward corresponding countermeasures according to different risk factors, hoping to provide useful reference for the safe operation of nuclear power plants.

**Keywords：** nuclear power plant; operational risk; risk assessment; risk management

## 引言

核能作为一种重要的能源形式，其在全球能源结构中占据着重要地位。因而核电厂的建设和运行对于满足能源需求、减少环境污染具有重要意义。但是实践之中核电厂的运行也存在一定的风险，如核泄漏、放射性污染等，并且这些风险可能会对人类健康和环境造成严重的危害。因此对核电厂运行风险进行评估和管理，是相关人员确保核电厂安全运行的关键。

## 一、核电厂运行风险概述

### （一）核电厂运行风险的内涵

核电厂运行风险是指在核电厂运行过程中，其会由于各种不确定因素的影响，从而导致核电厂发生事件或事故，并对人类健康、环境和经济造成损失的可能性<sup>[1]</sup>。通常核电厂运行风险包括了设备故障风险、人因失误风险、自然灾害风险和外部事件风险等。

### （二）核电厂运行风险的特点

#### （1）潜在性

核电厂运行风险具有潜在性，展开来说就是风险在没有发生

事件或事故之前，其往往难以被察觉和识别。原因在于核电厂的运行系统非常复杂，其涉及到多个领域的技术和知识，而核电厂的运行过程中存在着许多不确定因素，所以这些因素在一定条件下均可能引发事件或事故<sup>[2]</sup>。

#### （2）复杂性

核电厂运行风险具有复杂性，其意味着风险的形成和发展受到多种因素的影响，并且这些因素之间相互作用、相互影响，就会使得风险的评估和管理变得非常困难。例如核电厂的设备故障风险可能受到设备设计、制造、安装、运行和维护等多个环节的影响，而当中的人因失误风险出现则可能受到人员素质、培训、

作者简介：文鹏（1987.02-），男，汉族，四川绵阳，工程师，大学本科，研究方向：核电安全管理、核电运行管理；核电厂群堆管理。



管理和工作环境等多个因素的影响<sup>[3]</sup>。

（3）严重性

实践中核电厂运行风险也具有严重性，即一旦发生事件或事故，就可能对人类健康、环境和经济造成巨大的损失。如核泄漏事故可能导致大量人员受到放射性污染，进而对人类健康造成严重威胁。同时核泄漏事故还可能对环境造成长期的污染，从而影响生态平衡<sup>[4]</sup>。此外核泄漏事故还可能对经济造成巨大的损失，其中包括核电厂的修复费用、赔偿费用和对相关产业的影响等。核电历史上切尔诺贝利、三哩岛、福岛事故就是鲜明的例子。

（4）长期性

核电厂运行风险同样也具有长期性，具体来说就是风险的影响可能在很长时间内持续存在<sup>[5]</sup>。举例来说，核泄漏事故可能对环境造成长期的污染，从而影响生态平衡，并且核泄漏事故还可能对人类健康造成长期的影响，如导致癌症等疾病的发病率增加。

二、核电厂运行风险评估方法

（一）故障树分析

故障树分析是一种自上而下的逻辑分析方法，它主要是通过分析系统中可能导致事故或事件发生的各种因素来建立故障树模型，从而确定系统的故障模式和故障原因<sup>[6]</sup>。实践之中应用故障树分析可以帮助核电厂管理人员了解系统的故障机理，并识别系统中的薄弱环节，此方面内容能够为管理人员制定风险应对措施提供依据。

（二）事件树分析

与故障树分析相反，事件树分析是一种自下而上的逻辑分析方法，它核心是通过分析系统中可能导致事故或事件发生的各种初始事件，来建立事件树模型，进而确定系统的事故序列和后果。事件树分析可以帮助核电厂管理人员了解系统的事故发展过程，以此可评估系统的事故风险，最终为其制定应急预案提供依据<sup>[7]</sup>。

（三）失效模式与影响分析

失效模式与影响分析是一种系统分析方法，它是先分析系统中各个组成部分的失效模式和影响，再以此确定系统的潜在风险和薄弱环节。实践中失效模式与影响分析能够帮助核电厂管理人员了解系统的可靠性和安全性，从而为其制定维护计划和改进措施提供依据<sup>[8]</sup>。

（四）概率安全分析

概率安全分析是一种定量分析方法，此法需要分析系统中各种事故或事件发生的概率和后果，以确定系统的风险水平。一般情况下应用概率安全分析，能帮助核电厂管理人员了解系统的风险状况，进而为其制定风险控制措施提供依据。

三、核电厂运行风险因素分析

（一）设备故障风险

（1）设备老化

核电厂的设备在长期运行过程中，常常会受到各种因素的影

响，如辐射、温度、压力等，进而导致设备老化、磨损和腐蚀等问题出现。而这些问题可能会影响设备的性能和可靠性，最终增加设备故障的风险<sup>[9]</sup>。

（2）设备设计缺陷

核电厂的设备在设计过程中可能会存在一些缺陷和不足，如设计不合理、材料选择不当等。实践中这些问题可能会影响设备的性能和可靠性，从而增加设备故障的风险。

（3）设备制造质量问题

核电厂的设备在制造过程中还可能会存在一些质量问题，如制造工艺不合格、质量检验不严格等。当这些问题出现则可能会影响设备的性能和可靠性，然后将会增加设备故障的风险。

（4）设备安装和调试问题

核电厂的设备在安装和调试的过程中同样可能会存在一些问題，如安装不规范、调试不充分等。如果这些问题不解决，就可能影响设备的性能和可靠性，进而增加设备故障的风险。

（二）人因失误风险

（1）人员素质习惯问题

核电厂的运行需要高素质的人员，其中包括管理人员、技术人员和操作人员等。如果人员素质不高习惯不好可能会导致其操作失误、判断错误等问题，以此将增加人因失误的风险。

（2）培训不足问题

核电厂的人员需要接受专业的培训，通常需要包括安全培训、技术培训和应急培训等。如果对其培训不足，则可能会导致人员对设备和系统不熟悉、操作不熟练等问题，促使人因失误风险概率提升。

（3）管理不善问题

核电厂的管理需要确保科学、规范、严格。管理不善的话可能会导致人员工作态度不端正、责任心不强等问题出现，从而增加人因失误的风险<sup>[10]</sup>。

（4）工作环境问题

核电厂的工作环境存在辐射、噪音、高温、触电等风险，而这些环境问题也许会对人员的身心健康产生影响。当工作环境不好时，就可能会导致人员疲劳、注意力不集中等问题，进而增加人因失误的风险。

（三）自然灾害风险

（1）地震风险

尽管核电厂一般会建在地质条件较为稳定的地区，但其仍然存在地震的风险。而地震可能会导致核电厂的设备损坏、管道破裂等问题，此时就会增加核泄漏的风险。

（2）山洪风险

部分核电厂周边存在山体，其就可能会受到山洪的影响。山洪出现的话会导致核电厂的设备被淹没、电力供应中断等问题，从而增加核泄漏的风险。

（3）台风风险

核电厂一般都建在沿海地区，因而可能会受到台风的影响。台风可能会导致核电厂的设备损坏、建筑物倒塌等问题出现，此啊将会导致核泄漏。

## 四、核电厂运行风险应对措施

核电厂运行过程中的各种潜在风险可能来源于人因失误、技术失误和外部事件。其中人因失误包括操作失误、人因陷阱等，技术失误则涉及设备质量不达标、设备失效等问题，而外部事件则涵盖了自然灾害事件和外部事件等。上述这些风险一旦发生就可能对核电厂的安全运行造成严重影响。因此核电厂相关人员进行风险评估和管理策略的制定显得尤为重要。因为通过风险评估，其可以在工作中识别潜在风险，并评估其发生的可能性和严重程度，进而为制定相应的管理策略提供依据。而管理策略的制定则需要其综合考虑风险控制措施的有效性、成本效益以及法律法规等因素。

### （一）设备故障风险应对措施

#### （1）设备维护和保养

核电厂管理人员应建立完善的设备维护和保养制度，以此为根据定期对设备进行检查、维护和保养，确保自己能够及时发现和处理设备的故障和隐患。同时其还应加强对设备的监测和诊断，为此可在实践中采用先进的监测技术和设备，来对设备的运行状态进行实时监测和分析，从而保证自己可以及时地发现设备的异常情况。

#### （2）设备更新和改造

核电厂管理层应根据本厂设备的运行情况和技术发展趋势，及时地对设备进行更新和改造，以提高设备的性能和可靠性。除此之外，其应加强对设备的技术管理，在实践中采用先进的技术和管理方法，进而对设备的设计、制造、安装、运行和维护等环节进行全面管理，如此可确保设备的质量和安全性。

#### （3）设备备件管理

核电厂内部必须建立完善的设备备件管理制度，建立此制度的目的在于加强对设备备件的采购、储存和管理，以确保设备备件的质量和数量。针对于此相关人员就应加强对设备备件的技术管理，积极地采用先进的技术和管理方法，来对设备备件的设计、制造、安装、运行和维护等环节进行全面管理，最终确保设备备件的质量和安全性。

### （二）人因失误风险应对措施

#### （1）人员培训和教育

实践中核电厂应建立完善的人员培训和技能提升制度，进而加强对人员的安全培训、技术培训和应急培训，达到提高人员安全意识、技术水平和应急能力的目的。

#### （2）人员管理和监督

核电厂要具有完善的人员管理制度，才能加强对人员的管理和监督，以确保人员的工作行为符合规范和要求。实践过程中还应加强对人员的绩效考核和评价，即建立科学合理的绩效考核和评价体系，确保对人员的工作表现都能进行客观公正的评价，借此才能激励人员的工作积极性和创造性。

#### （3）工作环境改善

核电厂需要关注人员工作环境的改善，降低工作人员的工作强度和压力，以提高人员的工作满意度和幸福感。并且其还应加强对人员的心理健康管理，为其建立完善的心理健康管理体系，定期的对人员的心理健康状况进行监测和评估，保证能够及时地

发现和处理人员的心理健康问题。

#### （4）人因失误预防和控制

核电厂还应建立一套完善的人因失误预防和控制体系，达到加强对人因失误分析和研究，以及找出人因失误原因和规律的目的，针对其再采取有效的预防和控制措施，以降低人因失误的发生率。

### （三）自然灾害风险应对措施

#### （1）地震风险应对措施

建立完善的地震监测和预警系统对于核电厂运行是至关重要的，因为借助该系统可加强对地震的监测和预警，确保相关人员能够及时发现和处理地震风险。同时还应加强对核电厂的抗震设计和建设，以提高核电厂的抗震能力和安全性。此外还需要建立完善的地震应急预案，借此加强对地震应急事件的处理和管理，最终提高核电厂对于地震应急事件的处理能力和水平。

#### （2）山洪风险应对措施

核电厂建立完善的洪水监测和预警系统以及预案，目的在于加强对山洪的监测和预警，确保相关人员能够及时发现和处理山洪风险。在此基础上还应加强对核电厂的防洪设计和建设，以提高核电厂的防洪能力和安全性。

#### （3）台风风险应对措施

针对台风风险来说，核电厂还应加强与气象部门的沟通并建立一套应对各个等级台风的预案，以加强对台风的监测、预警和措施，保证实际中可以及时发现和处理台风风险，避免对核安全设施产生影响。

## 五、结语

核电厂作为一种高风险、高技术含量的工业设施，其运行安全直接关系到人类的安全和生命财产安全。因此为了保障核电厂的安全运行，相关人员必须建立严格的风险管理体系。同时风险评估作为核电厂运行风险管理的重要组成部分，它对于识别潜在风险、评估风险大小以及制定相应的管理策略也至关重要。本文主要探讨了核电厂运行风险评估与管理策略，以期能够为核电厂的安全运行提供参考和指导。

## 参考文献

- [1]丁震行. 核电厂运行风险管理[J]. 电力安全技术, 2002,(11):4-6.
- [2]王建召. 核电厂运行风险管理分析[J]. 科技视界, 2018,(04):176-177.
- [3]王梓宇. 核电厂直流系统接地故障查找与运行风险分析[J]. 科技视界, 2019,(03):220-222+234.
- [4]岳春生. 基于风险管控的核电厂维修工作包评估用数据库[J]. 设备管理与维修, 2020,(16):48-50.
- [5]黄兵, 张祥贵, 杨宏野, 等. 核电厂运行操作风险评估标准和风险管控研究[J]. 产业与科技论坛, 2021,20(19):216-218.
- [6]夏中朝. 浅谈运行值的人因管理[J]. 科技视界, 2021,(12):177-179.
- [7]姚肿, 陈齐清, 姚照红, 等. 核电厂运行人员防人因失误管理[J]. 中国核电, 2010,3(03):263-269.
- [8]李彬. 核电厂人因失误分析及预防[J]. 广西电力, 2017,(07):54-57.
- [9]衣同义, 析盛. 创新防人因失误工具, 提升企业安全水平[J]. 企业管理, 2019,(S2):156-157.
- [10]高星. 核电行业的防人因失误工具[J]. 劳动保护, 2019,(08):59-61.

# UPS 电容寿命探讨分析

何绍文

民航青海空管分局, 青海 西宁 810000

**摘要：**在现代电力系统中，UPS是保障电力连续性的关键设备，电容是其重要组件。随着对电力稳定性要求提高，UPS电容寿命问题凸显。本研究聚焦于此，通过对实际案例（如航管楼UPS）的分析，探讨影响电容寿命的环境温度、工作电压等因素，对比不同类型电容表现，研究维护措施（定期更换、环境维护等）对寿命的影响，以及电容选型和系统监控预警机制。结果表明合理措施可延长寿命，保障系统稳定。此研究对提高UPS可靠性，满足电力需求有重要意义。

**关键词：**UPS电容；寿命；影响因素；维护

## Discussion and Analysis of UPS Capacitor Life

He Shaowen

Qinghai Air Traffic Control Branch of Civil Aviation, Xining, Qinghai 810000

**Abstract：** In modern power system, UPS is the key equipment to ensure power continuity, and capacitor is its important component. With the improvement of power stability requirements, the problem of UPS capacitor life is prominent. This study focuses on this. Through the analysis of practical cases (such as UPS in air traffic control building), this paper discusses the environmental temperature, working voltage and other factors that affect the life of capacitors, compares the performance of different types of capacitors, and studies the influence of maintenance measures (regular replacement, environmental maintenance, etc.) on life, as well as capacitor selection and system monitoring and early warning mechanism. The results show that reasonable measures can prolong the service life and ensure the stability of the system. This research is of great significance to improve the reliability of UPS and meet the power demand.

**Keywords：** UPS capacitor; life span; influencing factors; maintain

## 引言

在当今数字化时代，电力供应的稳定性至关重要，UPS作为保障电力连续性的关键设备受到广泛关注。其中，电容作为UPS的核心组件，其寿命直接影响UPS的性能。随着科技发展，对UPS电容寿命的研究愈发重要。合理的电容寿命管理不仅能提高UPS的可靠性，还能降低维护成本。然而，电容寿命受多种因素影响，深入探讨这些因素以及相应的维护策略，对保障电力系统稳定运行具有重要意义，以下将对此展开详细分析。

## 一、UPS电容在系统中的重要作用

### （一）保障电力供应连续性

在市电正常时，电容作为储能元件，能够吸收和储存电能，以应对可能出现的瞬间电压波动，确保输出电压的稳定性，从而保障连接设备的正常运行。当市电中断时，电容能够迅速释放储存的电能，为UPS的逆变器提供必要的能量支持，使逆变器能够持续将直流电转换为交流电，维持对负载设备的电力供应，避免因电力中断导致设备停机，保障了电力供应的连续性，满足了对关键设备持续供电的需求。

### （二）稳定电压和滤波功能

在电路中，电容能够通过自身的充放电特性来调节电压。当电

压升高时，电容吸收多余的电能进行充电，从而降低电压；当电压降低时，电容释放储存的电能，提升电压，使得输出电压保持在稳定的范围内<sup>[1]</sup>。电容还具有滤波功能。在电力系统中，不可避免地存在各种谐波和纹波干扰，电容能够阻止这些高频干扰信号通过，只允许直流或低频的有用信号通过，从而提高了电能质量，为负载设备提供了纯净、稳定的电源，确保设备的正常运行和性能稳定。

## 二、影响UPS电容寿命的因素

### （一）环境温度的影响

随着环境温度升高，电容内部的电解液会加速挥发，导致电容容量逐渐减小。这种容量的变化会使电容在电路中的性能发生改

作者简介：何绍文（1990.01—），男，青海人，本科，专业电子信息工程，中级职称，研究方向：电气（UPS配置及维护，10kV高压线路维护，高原台站供电配置及维护）。



变，如滤波效果变差，无法有效滤除杂波，进而影响整个 UPS 系统的输出电能质量。高温还会使电容内部的化学反应速率加快，加速电容的老化过程。在一些高温环境下的工业应用场景中，UPS 电容的实际寿命可能只有理论寿命的一半甚至更短。另外，低温环境也会对电容产生不利影响，可能会导致电解液凝固，使电容无法正常工作。因此，为了延长 UPS 电容的寿命，需要对其工作环境温度进行合理控制，确保电容处于适宜的温度范围内。

（二）工作电压的作用

当电容长期处于过高的工作电压下，其内部的电场强度会增大，这会导致电容的绝缘介质更容易被击穿。一旦绝缘介质被击穿，电容就会失去其正常的功能，无法再储存和释放电能。而且，过高的工作电压还会加速电容内部的电化学反应，使电容的极板和电解液发生化学反应的速度加快，从而导致电容的老化和损坏<sup>[2]</sup>。相反，如果工作电压过低，电容可能无法充分发挥其储能和滤波等功能，影响整个 UPS 系统的性能。因此，在 UPS 系统的设计和使用过程中，需要合理选择电容的额定工作电压，并确保实际工作电压在合适的范围内，以延长电容的寿命并保证系统的正常运行。

（三）纹波电流及谐波电流的影响

纹波电流是指在直流电源中存在的微小交流成分，谐波电流则是指电力系统中存在的非正弦波电流成分。当电容处于有纹波电流和谐波电流的电路中时，这些电流会在电容内部产生热量。由于电容本身的散热性能有限，热量的积累会导致电容温度升高，进而加速电容内部电解液的挥发和化学反应速率，使电容容量减小，性能下降。而且，纹波电流和谐波电流的存在还会使电容承受额外的应力，这种应力会导致电容的极板和绝缘介质发生变形和损坏，从而缩短电容的寿命。为了减少纹波电流和谐波电流对电容寿命的影响，需要在电路设计中采用合适的滤波措施，如增加电感、电容等滤波元件，以降低纹波电流和谐波电流的幅值，提高电容的使用寿命。

三、UPS 电容实际寿命与理论寿命的差异

（一）滤波电解电容的寿命对比

滤波电解电容在 UPS 系统中具有重要作用，其寿命受到多种

因素影响，与理论设计寿命存在一定差异。理论上，滤波电解电容的设计寿命在（8 - 10）年之间，但实际工作寿命往往更短。从实际案例来看，如某航管楼的两台 120KVA 维谛 UPS 自 2013 年运行至 2024 年，其滤波电解电容在使用 11 年后出现明显老化迹象。在这期间，环境温度、工作电压以及纹波电流或谐波电流等因素都对电容寿命产生了作用。环境温度方面，设备内部的高温环境加速了电容电解液的挥发，导致电容容量减小。工作电压的影响也不可忽视，过高的电压会使电容内部电场强度增大，加速绝缘介质的击穿和电化学反应。纹波电流或谐波电流则使电容发热，进一步影响其性能和寿命。与其他类型电容相比，滤波电解电容的寿命特点较为明显。在一些 UPS 系统中，金膜交流滤波电容虽然也会受到环境等因素影响，但由于其结构和材料特性，在相同使用条件下，其寿命可能相对较长。这种寿命对比反映了不同电容在 UPS 系统中的适应性和可靠性差异，为 UPS 电容的选型和维护提供了重要参考。

（二）不同类型电容的实际表现

以滤波电解电容为例，如前所述，其在长期运行过程中，由于电解液挥发等原因，容量会逐渐减小，在对航管楼 UPS 电容的检测中发现，编号为 C5137 - J300 的电容，容量为 133 $\mu$ F，实际测量数据在 135.8 $\mu$ F - 141.5 $\mu$ F 之间，容量虽有变化但仍合格；而编号为 C65T2166JP18700 的电容，容量为 16 $\mu$ F，实际测量数据为 15.05 $\mu$ F - 15.31 $\mu$ F，出现了一定偏差，金膜电容器则有不同的表现，如金膜电容器 - 450VAC - 10uF  $\pm$  10%--Hipulse 专用，在 UPS 系统中主要用于特定的滤波功能<sup>[3]</sup>。其在长期运行中，受环境温度影响相对较小，主要得益于其材料和制造工艺。但如果工作电压超出额定范围，也可能出现性能下降的情况。防爆型金膜电容器在安全性方面表现突出，防爆型金膜电容器 - 500VAC - 100 $\mu$ F -  $\pm$  5%，在一些对安全性要求较高的 UPS 应用场景中，即使在复杂的环境条件下，也能保证其基本的电容性能，为 UPS 系统的稳定运行提供了保障。不同类型电容的这些实际表现，为 UPS 系统的设计和维护人员在选择和使用电容时提供了详细的参考依据，有助于提高 UPS 系统的整体性能和可靠性。如表 1 所示：

表 1：不同类型电容在 UPS 系统中的主要参数对比

电容类型	容量范围 ( $\mu$ F)	额定电压 (V)	内部 ESR ( $\Omega$ )	工作温度范围 ( $^{\circ}$ C)	纹波电流承受 能力 (A)	寿命预期 (年)	实际寿命偏差 (%)	使用材料	适用环境
滤波电解电容	100 - 10000	25 - 450	0.05 - 0.5	-40 to +85	0.5 - 10	8 - 10	-15 to -25	铝电解液、电极纸	高温环境，波动电压
固态电容	10 - 5000	6 - 500	0.01 - 0.1	-55 to +85	0.1 - 5	15 - 25	-5 to +10	固态电解质	低温、稳定环境
金属膜电容	1 - 1000	50 - 800	0.01 - 0.1	-40 to +125	0.05 - 3	20 - 30	+10 to +20	金属氧化物、聚丙烯	长期高温、低谐波
陶瓷电容	0.1 - 1000	50 - 500	0.001 - 0.05	-55 to +125	0.02 - 2	25 - 40	+5 to +15	陶瓷、银 / 镍电极	极端温差、高频应用
铝电解电容 (高温)	10 - 5000	25 - 600	0.05 - 0.2	-55 to +125	0.5 - 10	5 - 8	-20 to -30	铝电解液、电极纸	高温、波动环境

## 四、维护措施对 UPS 电容寿命的影响

### （一）定期更换的必要性

从实际数据来看，如某航管楼的两台 120KVA 维谛 UPS 自 2013 年运行至 2024 年，其滤波电解电容在 11 年后出现明显老化迹象，这凸显了定期更换的紧迫性。电容在长期使用过程中，受多种因素影响，性能会逐渐下降，滤波电解电容的电解液会因环境温度、工作电压以及纹波电流或谐波电流等因素而挥发，导致电容容量减小。以航管楼 UPS 电容检测数据为例，编号为 C65T2166JP18700 的电容，容量为  $16\mu\text{F}$ ，实际测量数据为  $15.05\mu\text{F} - 15.31\mu\text{F}$ ，出现了偏差。随着容量的减小，电容的滤波效果变差，无法有效滤除杂波，影响整个 UPS 系统的输出电能质量。电容长期处于工作状态，其内部的绝缘介质可能会被击穿。一旦绝缘介质被击穿，电容就无法正常储存和释放电能，导致 UPS 系统在市电中断时无法为负载提供稳定的电力支持。电容的极板和电解液也会发生化学反应，加速电容的老化和损坏。因此，为了确保 UPS 系统的稳定运行，保障电力供应的连续性和可靠性，定期更换电容是非常必要的。根据电容的理论设计寿命以及实际工作环境和使用情况，合理确定更换周期，能够有效延长 UPS 系统的使用寿命，降低系统故障的风险。

### （二）合理维护环境的作用

以航管楼的 UPS 系统为例，环境温度对电容寿命影响显著，在设备内部，高温环境会加速电容电解液的挥发，导致电容容量减小。如某滤波电解电容，其理论设计寿命在 (8 - 10) 年之间，但在高温环境下，实际工作寿命可能会大幅缩短。为了降低环境温度对电容的影响，可以采取多种措施，确保设备的通风良好，使热量能够及时散发出去。在 UPS 机房的设计和布局中，应考虑空气流通的合理性，避免设备过于密集，导致热量积聚<sup>[4]</sup>。对机房的温度和湿度进行合理控制，使其保持在适宜电容工作的范围内。一般来说，温度应控制在一定的合理区间内，避免过高或过低的温度对电容造成损害。除了温度，工作环境中的灰尘也会对电容产生不利影响。灰尘可能会附着在电容表面，影响电容的散热性能，导致电容温度升高。灰尘还可能进入电容内部，造成短路等故障。因此，保持机房的清洁，定期对设备进行除尘处理，也是合理维护电容工作环境的重要措施之一。通过营造良好的工作环境，可以有效延长电容的寿命，提高 UPS 系统的稳定性和可靠性。

## 五、基于电容寿命的 UPS 系统优化策略

### （一）电容选型的考虑因素

在 UPS 系统中，电容选型是确保系统稳定运行的关键环节，需要综合考虑多个因素，首先是电容的额定电压，它必须与 UPS 系统的工作电压相匹配。以航管楼的 120KVA 维谛 UPS 为例，其内部不同位置的电容工作电压要求各异。如直流母线电容可能需要承受较高的电压，而一些滤波电容则在相对较低的电压下工作。如果电容额定电压选择不当，过高可能导致电容过早损坏，过低则无法满足系统正常运行需求。电容的容量也是重要考量因

素。不同的应用场景和电路功能对电容容量有不同要求。在一些需要大量储能的电路中，就需要选择大容量的电容。从航管楼 UPS 电容数据来看，像编号为 C5137 - J300 的电容，容量为  $133\mu\text{F}$ ，适用于特定的电路功能。而对于一些滤波电路，可能需要根据滤波的频率范围和所需的滤波效果来选择合适容量的电容。电容的类型也至关重要。不同类型的电容具有不同的性能特点。如滤波电解电容在一些需要大容量储能和滤波的电路中应用广泛，但它受环境温度等因素影响较大。金膜电容器则在某些方面具有优势，如受环境温度影响相对较小，但其成本可能较高。防爆型金膜电容器则在安全性要求较高的场合更为适用。综合考虑这些因素，才能选择出适合 UPS 系统的电容，确保系统的高效稳定运行。

### （二）系统监控与预警机制

建立有效的系统监控与预警机制对于 UPS 电容的维护和系统的稳定运行至关重要，对于 UPS 系统中的电容，需要实时监控其关键参数。以航管楼的 UPS 系统为例，需要监控电容的电压、电流、温度等参数。通过对这些参数的实时监测，可以及时发现电容是否处于正常工作状态。当电容的电压超出正常范围时，可能意味着电容存在故障风险。同样，电流异常也可能提示电容内部出现问题，如短路或漏电等情况<sup>[5]</sup>。而温度的升高可能是由于环境温度过高、散热不良或电容自身性能下降等原因导致的。通过对这些参数的监控，可以及时采取措施进行调整或维修。预警机制则是在监控到异常参数后及时发出警报，提醒维护人员进行处理。当电容温度超过设定的阈值时，系统应立即发出警报，通知维护人员检查电容的散热情况或是否需要更换电容。预警机制还可以与远程监控系统相结合，使维护人员能够在远程实时了解电容的工作状态，及时做出决策，从而提高系统的可靠性和维护效率，确保 UPS 系统的稳定运行。

## 六、结语

UPS 电容寿命受多种因素影响，包括环境温度、工作电压、纹波电流等。不同类型电容表现各异，合理选型至关重要。定期更换和维护环境可延长寿命。通过对实际案例分析可知，准确把握这些因素，建立有效的监控预警机制，能保障 UPS 系统稳定运行，提高电容使用效率，为各行业电力供应提供可靠支持，满足对电力连续性和稳定性的需求。

## 参考文献

- [1] 李娇，曹明，高来超，等. 电路中电容充电对保险丝寿命影响分析 [J]. 电子质量，2022, (05): 54-58.
- [2] 姚知洋，金庆忍，郭敏. 宽频域纹波环境下电解电容寿命模型建立及老化速率分析 [J]. 电力电容器与无功补偿，2022, 43(01): 75-81.
- [3] 孙仲达，黄颖欣. 老旧电梯控制主板电容寿命评估分析 [J]. 机电工程技术，2020, 49(11): 236-237+246.
- [4] 慕芳，赵正虎，胡文斌，等. 接触网间歇式供电电容储能车辆全寿命周期成本分析 [J]. 机电信息，2019, (24): 133-135+137.
- [5] 沈峰，何建，徐文强. 基于定数截尾实验的航空发电机电容寿命分析 [J]. 中国科技信息，2018, (20): 36-37+13.



# 火电工程管理中的风险分析与控制策略研究

吴波

华电和祥工程咨询有限公司，山西 太原 030006

**摘 要：** 本文先剖析火电工程管理风险的特性，随后详细阐述从项目决策、招投标、施工建设到竣工验收各阶段的风险因素，包括市场波动、投标违规、施工安全与质量等方面的风险。接着提出全面且具有针对性的风险控制策略，涵盖风险预警、全过程管理强化、技术与管理创新以及人员素质提升等维度，旨在为火电工程管理提供系统的风险管控理论依据与实践指导，以提升火电工程管理的风险应对水平，保障工程的顺利推进与可持续发展。

**关 键 词：** 火电工程；工程管理；风险分析；风险控制

## Risk Analysis and Control Strategy Research in Thermal Power Engineering Management

Wu Bo

Huadian Hexiang Engineering Consulting Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030006

**Abstract：** This article first analyzes the characteristics of risk management in thermal power engineering, and then elaborates on the risk factors in each stage from project decision-making, bidding, construction to completion acceptance, including risks such as market fluctuations, bidding violations, construction safety and quality. Subsequently, it proposes comprehensive and targeted risk control strategies, covering risk early warning, strengthening of the entire process management, technological and management innovation, and improvement of personnel quality. The aim is to provide a systematic theoretical basis and practical guidance for risk management and control in thermal power engineering management, to improve the risk response level of thermal power engineering management, and to ensure the smooth progress and sustainable development of the project.

**Keywords：** thermal power engineering; engineering management; risk analysis; risk control

### 引言

随着能源需求的持续增长，火电工程在电力供应体系中占据着关键地位。然而，火电工程建设周期长、投资规模大、技术复杂且涉及众多利益相关方，在其管理过程中面临着诸多风险。有效分析这些风险并制定相应的控制策略，对于保障火电工程的顺利实施、提高工程质量与效益、促进电力行业的稳定发展具有极为重要的意义。

### 一、火电工程管理风险特性分析

在火电工程管理领域，深入剖析风险特性是构建有效管控策略的基石。此章节将全面解析火电工程管理风险呈现的多维度特性。对其精准把握有助于在后续管理中有的放矢，针对性地制定风险应对方案，保障火电工程顺利推进。

#### （一）多样性

火电机组参与深度调峰往往是与储能联动，以抽水蓄能、电化学储能、飞轮储能、压缩空气储能为代表的各类储能方式在国内或国外均被商业化，各种储能技术在原理上均是在电网负荷低时，将电能转化为其他能量储存，待电网负荷提高后，再将其其他形式能量转化为电能<sup>[1]</sup>。火电工程涵盖土建、设备安装、电气调试等多领域，风险多样。土建方面，不同地区地质构造差异大，软土地基、溶洞、断层等不良地质情况，可能导致建筑物沉降、

开裂甚至倒塌。设备安装时，因厂家众多、生产批次及技术规格更新，设备兼容性与匹配性难保证，易出现接口不符、参数不匹配问题，影响系统协同运行。电气调试中，复杂线路连接、高电压大电流及精密设备，受绝缘损坏、短路、过载等影响，会引发故障，损坏设备、造成停电甚至危及人员安全。

#### （二）复杂性

火电工程建设中风险因素相互关联。市场价格波动影响原材料供应，钢材、水泥等价格大幅上涨，供应商可能延迟或减少供货，导致施工现场原材料短缺，施工进度放缓<sup>[2]</sup>。施工进度延迟依合同约定会引发连锁反应，无法按时交付电力产品，使电力供应方不能履行与用电客户合同，产生合同违约风险并需承担经济赔偿的后果。各环节风险非孤立，相互依存传导，一环节风险爆发可引发多米诺骨牌效应，整体风险难以简单剖析应对，需综合考量内在联系。

### （三）动态性

火电工程建设周期长，各阶段风险各异且动态变化。项目决策阶段，市场需求不确定，如区域经济与新兴能源竞争，政策法规变动，如能源与环保政策调整，影响项目可行性。施工阶段，人员操作、防护及设备状态关乎安全<sup>[3]</sup>；原材料、工艺、参数决定质量；计划、资源调配、外部干扰左右进度。竣工验收阶段，环保达标与合规手续是关键。各阶段风险重点不同，管理者需持续跟踪、灵活应对，保障工程顺利交付运营。

### （四）严重性

火电工程重大风险事故后果严重。大型设备损坏，如汽轮发电机组，维修或更换成本极高，大幅增加工程成本。火灾爆炸事故更具灾难性，瞬间摧毁设备设施，造成巨额直接经济损失，致人员伤亡，使家庭破碎<sup>[4]</sup>。还会释放有害污染物，污染周边环境，破坏生态，引发居民恐慌不满，致企业社会形象受损，面临舆论压力与信任危机，后续项目开展、市场拓展困难重重，甚至引发法律纠纷与监管处罚，加重企业负担。

## 二、火电工程管理各阶段风险因素分析

本章节将依序剖析项目决策、招投标、施工建设以及竣工验收阶段的风险状况。从市场需求预测失准与政策法规变动，到投标违规与施工中的安全、质量、进度困扰，再到竣工时的环保达标与结算难题，全面梳理各阶段风险来源与可能引发的后果。

### （一）项目决策阶段风险

在火电工程筹备初期，一旦出现预估偏差，后果堪忧。若高估需求，所规划的火电工程建设规模会超出实际所需，建成投产后，发电过剩局面难以避免，大量发电设备被迫闲置，前期投入的巨额资金难以收回，经济效益严重受损，同时也造成资源的极大浪费<sup>[5]</sup>。反之，若预估需求不足，工程规模过小，无法充分满足区域内企业生产与居民生活的电力供应，既影响自身盈利水平，又对地区经济发展和社会稳定产生不利，社会效益大打折扣。

火电工程从规划到运营始终处于法规政策的严密监管之下。国家能源政策引导能源发展走向，环保政策对火电污染物排放提出严格要求，产业政策规范行业发展。当环保排放标准提高，火电项目需投入大量资金用于技术改造以安装先进的脱硫、脱硝、除尘设备，在煤炭产能受限时，可能导致燃料供应不足或价格波动，使得项目建设过程中面临成本剧增困境，甚至可能因无法承受而被迫暂停或彻底取消，前期投入付诸东流。

### （二）招投标阶段风险

在招投标环节，部分不良投标单位为获火电项目，常虚报资质等级与过往业绩等信息。中标后，因其技术能力与管理经验欠缺，施工时工艺不达标、资源调配混乱，难以保障工程质量与进度，给项目带来诸多隐患，危及推进与交付。

招投标中，围标、串标等不正当竞争行为频发。围标是投标单位勾结操控报价，或抬价牟利，或压价排对手<sup>[6]</sup>；串标是投标单位与招标单位或其他利益方串通内定中标者。这些行为破坏公

平竞争秩序，使中标价偏离合理范围，大幅增加工程成本。非正当中标单位后续施工常因违规操作或能力不足，出现施工进度拖延、质量低劣等问题，严重损害火电项目整体效益与各方合法权益，阻碍行业健康发展。

### （三）施工建设阶段风险

火电工程施工涉及高温、高压、高空等危险作业环境，容易发生安全事故。如施工人员安全意识淡薄、安全防护措施不到位、施工设备故障等，都可能引发人员伤亡、设备损坏等安全事故，影响工程进度与企业声誉。

施工过程中原材料质量不合格、施工工艺不规范、施工技术参数控制不准确等因素，可能导致火电工程的建筑结构强度不足、设备安装精度不够、系统运行不稳定等质量问题，影响工程的使用寿命与发电效率，增加后期维修成本<sup>[7]</sup>。

施工进度受到多种因素影响，如施工方案不合理、施工资源调配不当、恶劣天气影响、外部环境干扰（如周边居民投诉导致施工暂停）等，可能导致工程不能按时竣工，影响项目的预期收益，增加资金成本与运营成本。

### （四）竣工验收阶段风险

火电工程在运行过程中会产生大量废气、废水、废渣等污染物。若环保设施建设不完善或运行效果不佳，在竣工验收时可能无法达到国家环保标准，导致项目不能正常投入运营，需要进行整改，增加成本与时间投入<sup>[8]</sup>。

竣工结算过程中可能因工程变更手续不完善、工程量计算不准确、合同条款理解歧义等原因，导致结算金额争议，影响项目资金的正常结算与支付，延误工程尾款的回收，影响企业资金周转。

## 三、火电工程管理风险控制策略

本章节将详细阐述多维度的风险控制策略。从构建风险预警机制以敏锐察觉风险信号，到强化全过程管理确保各环节规范运作，再到借助技术与管理创新提升工程效益与抗风险能力，最后通过提升人员素质与风险意识，全方位筑牢风险防控壁垒。

### （一）建立完善的风险预警机制

设立专门的风险信息收集部门或岗位，通过多种渠道广泛收集与火电工程相关的各类信息，包括市场动态、政策法规变化、行业技术发展、自然灾害预警等信息，并对收集到的信息进行分类整理与分析，筛选出可能影响火电工程管理的风险信息。

根据火电工程管理各阶段的风险因素，设定科学合理的风险指标体系，如市场需求变化率、原材料价格波动率、施工安全事故发生率等指标。利用信息化技术建立风险监测系统，对风险指标进行实时监测与动态跟踪，及时发现风险指标的异常变化，为风险预警提供数据支持<sup>[9]</sup>。

当风险监测系统发现风险指标达到预设的预警阈值时，及时发布风险预警信号。预警信号应明确风险类型、风险程度、可能影响范围等信息。同时，制定完善的风险预警响应机制，明确各部门与人员在接到预警信号后的职责与任务，及时采取相应的风

险应对措施，如调整施工计划、增加安全防护措施、优化物资采购策略等，将风险损失控制在最小范围内。

## （二）强化火电工程全过程管理

加强市场调研与分析，采用科学的市场需求预测方法，如时间序列分析法、回归分析法等，提高市场需求预测的准确性。密切关注国家政策法规动态，建立政策法规跟踪机制，及时调整项目规划与方案，确保项目符合政策法规要求，降低政策风险。同时，进行全面的项目可行性研究，综合考虑技术、经济、环境等多方面因素，对项目的投资效益、社会效益进行客观评估，为项目决策提供可靠依据。

建立严格的投标单位资质审查制度，对投标单位的资质证书、业绩证明、人员资质等进行详细核实，必要时进行实地考察，确保投标单位具备相应的实力与经验。加强招投标过程的监督管理，建立健全招投标管理制度与流程，规范招投标行为，严厉打击围标、串标等违规行为<sup>[10]</sup>。采用合理的评标方法，如综合评估法、最低价中标法等，确保中标单位在技术、价格、信誉等方面具有优势，保障项目的顺利实施。

制定完善的施工安全管理制度，加强施工人员的安全培训与教育，增强施工人员的安全意识与操作技能。加大安全投入，配备先进的安全防护设备与设施，定期进行安全检查与隐患排查，及时整改安全隐患，确保施工安全。建立严格的施工质量控制体系，加强原材料与构配件的质量检验，严格执行施工工艺标准与技术规范，加强施工过程中的质量监督与检查，实行质量追溯制度，确保施工质量符合设计要求与国家标准。制定科学合理的施工进度计划，采用先进的项目管理软件进行进度管理，合理调配施工资源，及时解决施工过程中出现的进度问题，确保工程按时竣工。

在火电工程建设过程中，同步建设完善的环保设施，并确保其正常运行。在竣工验收前，提前进行环保自检，对发现的问题及时整改，确保环保设施达标排放，满足环保验收要求。加强竣工结算管理，建立规范的竣工结算流程，明确结算依据与标准。对工程变更、工程量计算、合同价款调整等关键环节进行严格审核，确保竣工结算的准确性与公正性。

## （三）加强技术创新与管理创新

加大对火电工程新技术、新工艺、新材料的研发与应用力

度。如采用高效的脱硫、脱硝、除尘技术，降低污染物排放；应用先进的超超临界发电技术，提高发电效率；推广数字化施工技术，如建筑信息模型（BIM）技术，提高施工管理的精细化水平与协同效率等。通过技术创新，降低火电工程建设与运营成本，提高工程质量与效益，增强火电工程的市场竞争力与抗风险能力。

引入先进的项目管理理念与方法，如项目全生命周期管理、敏捷项目管理等，优化火电工程管理流程与组织架构。建立以风险管理为核心的项目管理体系，将风险管理贯穿于项目的全过程、全要素、全参与方。加强信息化建设，利用大数据、云计算、物联网等信息技术，构建火电工程管理信息平台，实现项目信息的实时共享与协同工作，提高管理决策的科学性与及时性。

## （四）提升人员素质与风险管理意识

加强火电工程专业人才的培养与引进，通过高校合作、职业培训、继续教育等多种方式，培养一批具备扎实专业知识、丰富实践经验、较强创新能力的火电工程管理人才、技术人才与施工人才。建立人才激励机制，吸引和留住优秀人才，为火电工程管理提供人才保障。

开展全面的风险管理意识培训，提高全体员工对风险管理的认识与重视程度。培训内容包括风险识别、风险评估、风险应对等基础知识与技能，以及火电工程管理各阶段的典型风险案例分析等。通过培训，使员工树立正确的风险管理观念，在日常工作中自觉关注风险、识别风险并积极参与风险应对工作，形成全员参与风险管理的良好氛围。

## 四、结束语

本文对火电工程管理中的风险进行了全面深入的分析，明确了火电工程管理风险具有多样性、复杂性、动态性和严重性等特性，并详细剖析了项目决策、招投标、施工建设和竣工验收各阶段的风险因素。在此基础上，提出了建立完善风险预警机制、强化全过程管理、加强技术与管理创新以及提升人员素质与风险管理意识等风险控制策略。

## 参考文献

- [1] 冯文嵩. 火电机组深度调峰改造项目风险管理研究 [J]. 大陆桥视野, 2023, (09): 131-132.
- [2] 李军. 火电工程项目管理的优化策略 [J]. 工程建设与设计, 2019, (19): 288-290.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.10.104.
- [3] 白月. 火电工程项目合同管理初探 [J]. 电站系统工程, 2021, 37(02): 79-80.
- [4] 张光明. 火电工程备品备件和专用工具借用的精细化管理探讨 [J]. 企业改革与管理, 2019, (15): 54+70.DOI: 10.13768/j.cnki.cn11-3793/f.2019.2125.
- [5] 李宝华. 火电工程建设中质量管理问题及对策 [J]. 工程建设与设计, 2019, (06): 219-220.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.03.301.
- [6] 邓海龙, 张腾龙, 黄涛, 等. EPC 模式下火电工程全过程质量管理与控制 [J]. 电力勘测设计, 2023, (S1): 34-38.DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2023.S1.007.
- [7] 梁宝红. 论火电工程项目施工成本控制管理 [J]. 投资与创业, 2022, 33(04): 179-181.
- [8] 高玉莹, 孔祥福. 火电工程建设项目精细化造价管理 [J]. 项目管理评论, 2021, (01): 68-71.
- [9] 马欣. 工程项目成本管理存在的问题及对策探讨——以甘肃电投火电工程项目为例 [J]. 中国集体经济, 2021, (01): 34-35.
- [10] 李军. 火电工程项目管理的优化策略 [J]. 工程建设与设计, 2019, (19): 288-290.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.10.104.

# 电力工程线路电气施工安全风险识别及预控体系构建

杨萌

国网济南供电公司, 山东 济南 250000

**摘 要：** 电力工程线路电气施工安全风险识别及预控体系构建涉及到风险识别、风险评估、预控措施等多个方面，因此其是一个复杂且重要的过程。本文首先对电力工程线路电气施工安全风险进行了评估，其中分析了施工过程中可能面临的各类风险因素。接着提出了具体的安全风险预控措施，当中包括人员管理、设备维护、现场监管等方面。然后以此为基础对构建电力工程线路电气施工安全风险识别及预控体系提出了建议，希望能够有效地提高施工安全水平。

**关 键 词：** 电力工程；线路电气施工；安全风险；风险评估；预控措施

## Construction of the Safety Risk Identification and Pre-Control System for the Electrical Construction of Electric Power Engineering Lines

Yang Meng

State Grid Jinan Power Supply Company, Jinan, Shandong 250000

**Abstract：** The construction of risk identification and pre-control system of electrical line construction involves risk identification, risk assessment and pre-control measures, so it is a complex and important process. Firstly, this paper evaluates the safety risk of electrical construction of power engineering lines, and analyzes the various risk factors that may be faced in the construction process. Then the specific safety risk pre-control measures are put forward, including personnel management, equipment maintenance, on-site supervision and other aspects. Then, on this basis, suggestions are put forward for the construction of electrical construction safety risk identification and pre-control system of power engineering lines, hoping to effectively improve the construction safety level.

**Keywords：** electric power engineering; line electrical construction; safety risk; risk assessment; pre-control measures

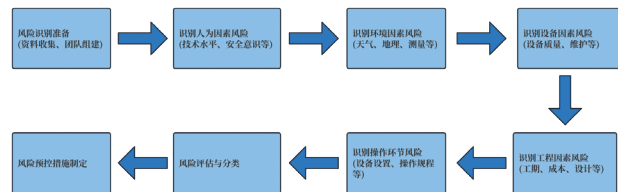
## 引言

如今随着经济的快速发展，电力需求不断增长，使得电力工程建设也日益增多。电力工程线路电气施工是电力工程建设的重要环节，其施工质量和安全直接关系到电力系统的稳定运行。然而由于电力工程线路电气施工环境复杂、技术要求高、危险性大，所以其施工过程中存在着诸多安全风险。因此本文分析了电力工程线路电气施工的主要风险点，并探讨了基于风险评估结果的预控措施。

## 一、电力工程线路电气施工安全风险识别

风险识别是构建预控体系的第一步，它要求相关人员全面、系统地识别施工过程中可能存在的各种安全风险。

图表1：电力工程线路电气施工安全风险识别流程图



### (一) 人为因素

在施工现场当中，施工和管理人员往往会因诸多疏忽和错误而导致安全隐患。其中这些疏忽可能表现为操作过程中的不规范

行为，如不按照标准程序进行作业；或是对安全规则缺乏足够的认识和重视，从而导致他们在工作时未能采取必要的预防措施；亦或是工艺流程本身就存在不符合相关规定的问题。

此外施工人员自身的技术水平、安全意识以及协作能力同样地不可忽视，因为它们在很大程度上决定了一个项目能否顺利、高效地完成。其中技术能力不足会直接影响到施工的质量与安全；安全意识淡薄则可能使他们在面对紧急情况时反应迟钝；而协作能力的缺失极有可能导致团队之间沟通不畅，进而增加事故发生的概率。因此提升施工现场管理水平，与加强人员培训和监督，对于降低安全风险至关重要。

### (二) 环境因素

#### 1. 天气条件的不确定性

极端天气事件如猛烈的强风或突如其来的大雨，不仅仅会对

作者简介：杨萌（1990.08-），女，汉族，山东济南人，中级工程师，大学本科，研究方向：输变电项目工程管理。



工程进度造成严重干扰，其还有可能引发安全隐患。特别是在这种情况下，如果施工人员进行高空作业、土方挖掘或是重型机械作业，风险将会大大增加，而一旦发生事故，则后果不堪设想。

## 2. 地理环境

项目地点的地形往往错综复杂，且地质结构多变，因此就要求施工方必须具备丰富的经验和精确的规划能力。但当遇到岩石分布不均、断层错动等地质问题时，即便是最精心的计划也难以避免潜在的安全事故。

## 3. 测量仪器的误差

即使是经过严格校准的设备，其也可能因为各种因素而产生误差，从而影响到整个施工过程的准确性和安全性。所以在任何施工活动前，项目人员都需要对当地的地理环境进行详细的评估，并结合评估结合采取相应的安全措施，以确保施工过程的顺利进行和人员生命财产安全<sup>[1]</sup>。

## （三）设备因素

在施工过程中，施工设备的磨损程度和安装的可靠性都会直接关系到工程的安全性。如果施工人员使用一台老旧或是安装不当的设备，就可能会导致线路的不稳定运行，此时将增加安全事故的风险。同样地，原材料和设备的选择与质量控制、它们所具备的安全性能以及操作人员遵循的规范，均是影响施工安全性的关键因素。对于这些因素而言，相关人员如果处理不当或缺失，将会极大地降低施工的可靠性，甚至还可能引发重大的安全事故。因此在进行线路施工时，相关人员对这些风险因素必须给予足够的重视，进而确保工程的质量和人员的安全。

## （四）工程因素

线路施工中面对紧迫的工期和不断攀升的成本压力，施工人员不得不采取更为激进的设计方案。但这些方案的实施往往伴随着更高的安全风险，因为它们可能涉及到对现有电网结构的巨大变动，或未经充分测试的新技术应用。另外电力系统在设计阶段就必须考虑到长期运行的安全性，而且在实际的运行和维护环节，对其也需要相关人员不断地监控潜在风险，并进行必要的调整和维护工作。可这不仅要求相关人员具备高度专业的技能，其还需要持续的培训和对最新安全标准的了解与遵守，才能确保系统能够稳健且安全地运行。因而在整个电力网络的生命周期内，从设计到运维中的每一步都需谨慎操作，进而避免安全事故的发生，并保障电力供应的稳定和可靠。

## （五）操作环节

线路施工的各个环节中，如果出现设备设置如果不合理、操作规程执行不严格、现场管理和控制力度不够等问题，其潜在风险就会导致施工过程中存在安全隐患。因此无论是设备摆放位置的不恰当，还是操作人员对规范流程的忽视，亦或是现场监管的松懈，其都可能成为影响线路施工安全性的关键要素。针对于此，相关人员需确保每一步施工作业都符合标准，要保证其遵循既定的操作流程，并加强现场监督和管理。因为只有这样，施工企业才能有效避免因人为失误或管理不当而引发的安全事故，从而确保工程顺利进行的同时，保护参与施工人员生命安全<sup>[2]</sup>。

# 二、电力工程线路电气施工安全风险评估

在电力工程的建设过程当中，电气施工是至关重要的一环。而企业为了确保施工质量和安全，则有必要对线路电气施工的安全风险进行全面识别，并构建有效的预控体系。

## （一）风险因素分析

### 1. 人员因素

（1）施工人员技术水平不足就可能導致施工操作不规范，由此引发安全事故。

（2）施工人员安全意识淡薄，其在施工中就有可能不遵守安全操作规程，如不佩戴安全帽、安全带等。

（3）施工人员身体状况不佳，如患有高血压、心脏病等疾病，则可能在施工过程中突发疾病，进而引发安全事故。

### 2. 设备因素

（1）电气设备质量不合格，该设备即可能在运行过程中出现故障，从而引发安全事故。

（2）电气设备维护保养不到位，则会出现设备老化、损坏等问题，而这将影响设备的正常运行。

（3）操作人员对施工机械设备操作不当，那么就可能造成机械伤害事故。

### 3. 环境因素

（1）施工现场地形复杂就会导致施工难度增加，此时就容易引发安全事故。

（2）当施工现场气候条件恶劣时，如高温、暴雨、大风等，其会影响施工安全。

（3）施工现场存在易燃易爆物品，会提升火灾、爆炸等安全事故发生的概率。

### 4. 管理因素

（1）安全管理制度不完善时，就可能導致安全管理不到位，继而引发安全事故。

（2）管理人员对安全监管不力，则会导致施工过程中存在安全隐患，因为其对安全问题未能及时地发现和排除。

（3）应急预案不完善，那么在发生安全事故时相关人员就无法及时有效地进行应急处置。

## （二）风险评估方法

### 1. 定性评估法

一方面电力企业可应用专家评估法，即邀请相关领域的专家，来对电力工程线路电气施工安全风险进行评估。此时专家会根据自己的经验和知识，对风险因素进行分析和评价，以此确定风险等级。另一方面企业还可采用安全检查表法，在企业内部制定安全检查表，借助该表对电力工程线路电气施工过程中的各个环节进行检查，确保及时地发现安全隐患，进而确定风险等级。

### 2. 定量评估法

当电力企业应用层次分析法时，其需要将电力工程线路中，电气施工的安全风险因素进行层次划分，并以此建立层次结构模型<sup>[3]</sup>。然后通过两两比较确定各因素的权重，再综合计算风险值，从而确定风险等级。或者其还可以使用模糊综合评价法，该



方法需将电力工程线路电气施工安全风险因素进行模糊化处理，接着建立模糊评价模型，再通过模糊运算确定风险等级<sup>[4]</sup>。

### 三、电力工程线路电气施工安全风险预控措施

#### （一）人员管理措施

##### 1. 加强施工人员培训

电力企业需定期组织施工人员进行安全培训，进而提高施工人员的安全意识和技术水平。其中培训的内容应该包括安全操作规程、安全防护知识、应急处置方法等<sup>[5]</sup>。

##### 2. 严格人员准入制度

对施工人员进行资格审查，目的是确保施工人员具备相应的资质和能力。提升企业必须严禁未经培训或考核不合格的人员进入施工现场。

#### （二）设备管理措施

##### 1. 严格设备选型

工作过程中，企业需选择质量可靠、性能稳定的电气设备和施工机械设备，确保设备选型符合国家相关标准和规范要求。

##### 2. 加强设备维护保养

内部制定设备维护保养计划，设立员工定期对设备进行维护保养。以此确保能够及时发现和排除设备故障，进而保证设备的正常运行。

##### 3. 规范设备操作

针对施工人员制定设备操作规程，督促其严格在施工中按照操作规程操作设备。为此企业需对设备操作人员进行培训，提高设备操作人员的技术水平。

#### （三）现场管理措施

##### 1. 优化施工现场布置

企业需根据施工现场实际情况，合理地布置施工现场，其主要确保施工通道畅通、材料堆放整齐、设备摆放有序。同时还应对施工现场进行封闭管理，在周边设置警示标志，以此防止无关人员进入施工现场。

##### 2. 加强现场安全监管

为能及时地发现和纠正施工过程中的安全隐患，与确保施工

安全，企业应配备专职安全管理人员对施工现场进行全过程安全监管。

##### 3. 做好现场应急处置

电力企业应制定应急预案，且配备应急救援设备和物资。另外还需定期组织施工人员进行应急演练，以此提高施工人员的应急处置能力。

#### （四）管理措施

##### 1. 完善安全管理制度

建立健全安全管理制度，该制度内要明确各部门、各岗位的安全职责。同时还应制定安全考核制度，通过对施工过程中的安全管理进行考核，来确保安全管理制度的有效执行<sup>[6]</sup>。

##### 2. 加强安全监管力度

加大安全监管力度，即加强对施工现场进行定期和不定期的安全检查。而对发现的安全隐患，相关部门应及时地下达整改通知书，并督促施工单位限期整改。

图表 2：安全风险预控措施与责任分配表

风险类别	预控措施	责任部门 / 人员
人为因素	加强培训、严格准入制度	人力资源部、安全部
环境因素	优化施工布局、加强天气预报与应对	工程部、安全部
设备因素	严格选型、加强维护保养、规范操作	设备部、操作员
工程因素	合理规划工期、优化设计、加强成本控制	工程部、财务部
操作环节	制定操作规程、加强现场监管、应急处置准备	安全部、操作员

### 四、结语

电力企业构建电力工程线路电气施工安全风险识别及预控体系是一个复杂而重要的过程。它要求其全面、系统地识别施工过程中可能存在的各种安全风险，并对这些风险采取有效的技术手段和管理措施进行预防和控制。只有这样，其才能确保施工过程的安全性和可控性，从而为电力系统的稳定运行提供保障。

### 参考文献

- [1] 宋洋. 河南电建公司 Z 输电线路项目安全风险评估研究 [D]. 河南省: 郑州大学, 2022.DOI:10.27466/d.cnki.gzzdu.2022.004904.
- [2] 许一丹. M 电化学储能电站并网工程项目风险管理研究 [D]. 山东省: 山东大学, 2023.
- [3] 司娜. 基于层次分析法 (AHP) 的铁路成本管理研究 [D]. 湖南省: 中南大学, 2022.
- [4] 张梦云. 基于模糊综合评价法的输变电项目社会稳定风险评价 [D]. 云南省: 昆明理工大学, 2023.
- [5] 唐玥. H 电力建设工程有限公司财务风险管理研究 [D]. 上海市: 东华大学, 2020.
- [6] 武磊. 连云港 110 千伏安峰输变电工程项目风险管理研究 [D]. 江苏省: 江苏大学, 2022.

# 分布式光伏电站的高效运维策略探索

肖政

国网随州供电公司, 湖北 随州 441300

**摘 要：** 伴随着能源的快速转型，分布式光伏电站开始广泛流行。该课题着眼于其运行维护领域，对电站的特点进行了解剖，明确了运行维护的必要性，并揭示了存在的问题，如设备故障频繁，监控落后，人员缺乏专业，然后从智能监测，精细化巡检，人员培养，备件管理和应急处理几个方面探究了高效运维的策略，目的在于促进电站发电效率的提高、延长了使用寿命，对分布式光伏产业的可持续发展起到了强有力的支持作用。

**关 键 词：** 分布式光伏电站；高效运维；智能监测；精细化巡检；人员培训

## Exploration of Efficient Operation and Maintenance Strategies for Distributed Photovoltaic Power Stations

Xiao Zheng

State Grid Suizhou Power Supply Company, Suizhou, Hubei 441300

**Abstract：** Accompanying the transition of energy, distributed photovoltaic power stations have become widely popular. This topic focuses on the operation and maintenance of the power station, analyzing the characteristics of power station, clarifying the necessity of operation and maintenance, and revealing the existing problems, such as frequent equipment failures, backward monitoring, and lack of professionalism personnel. Then, it explores efficient operation and maintenance strategies from the aspects of intelligent monitoring, refined inspection, personnel training, spare parts management, and emergency response. purpose is to promote the improvement of the power station's power generation efficiency, extend its service life, and provide strong support for the sustainable development of the distributed photic industry.

**Keywords：** distributed photovoltaic power station; efficient operation and maintenance; intelligent monitoring; refined inspection; personnel training

### 引言

在世界范围内应对气候变化和寻求绿色能源的时代背景下，分布式光伏电站以其贴近用户侧，可就地消纳和安装灵活等特点成为能源领域的新宠儿。其有效地利用了建筑屋顶和闲置空地的资源，给企业和居民提供洁净的电力，有利于碳减排目标的达成。但是光伏电站长时间裸露在室外，受到光照，温度和湿度等复杂环境的影响，运维管理相当困难。如果运行维护不到位，就会大大降低发电效率，出现故障隐患，不仅会影响投资收益甚至危害电网的稳定运行。所以，急需探讨适配分布式光伏电站高效运行维护策略。

### 一、分布式光伏电站的特点

#### （一）分布式布局

分布式光伏电站并不像集中式的大电站那样集中成片，它散布于各个角落，比如工业园区的厂房顶部，居民小区的屋顶以及农村的闲置院落。以一个工业园区为例，很多企业的厂房屋顶都被光伏板覆盖，充分的利用了建筑的空间，满足了企业的就近用电，降低了传输损耗的同时，剩余的电能也可以上网获利，实现了能源的就地转化和消纳，使能源的使用更加有效和经济<sup>[1]</sup>。

#### （二）发电规模灵活

分布式光伏电站在发电规模上展现了多种多样的特点，其规模

范围从每户仅有数千瓦的家用系统到大型的兆瓦商业电站都有。小型户用系统尽管发电功率受限，但能够准确地满足农村家庭日常的基本用电。这些小系统使房屋中电灯亮起，使电视，风扇和其他家电能够正常工作，大大提升了农村地区偏僻和电网覆盖不足的村民生活质量。中等规模的光伏电站在提供公共服务方面表现得尤为突出。以学校和医院这样的公共设施为例，一所位于山区的乡村小学成功地建立了一个30kW的光伏电站。阳光灿烂的白天，这里不断地为教室照明和多媒体教学设备提供足够的电力以保证教学活动的顺利进行；而且在寒暑假期间学校用电负荷明显减少，这时余电上网后，也会给学校带来额外经济收入，在节能和创利之间真正达到共赢，并完美适配多种差异化用电场景。

作者简介：肖政（1993-），男，湖北随州市人，中级工程师，研究方向：配电运检。

### （三）受环境因素影响大

户外环境复杂多样，光照时长，强度大，温度高，湿度大，灰尘和遮挡物随时都会影响到发电效率。夏季气温较高降低了光伏组件的转换效率；持续的阴雨天使发电量急剧下降；由于灰尘的累积和光照吸收的阻碍，西部荒漠地区曾存在光伏电站。在一次沙尘暴之后，如果不迅速进行清理，发电的功率将下降超过30%，因此运维团队需要根据不同的环境条件来调整运维的焦点。

### （四）并网方式多样

有全额上网和自发自用的余电上网两种方式。居民户用大多是自发自用的余电接入电网，日间优先供应自家电器并向电网出售余电；规模较大的商业分布式电站可采取全额上网的方式，像一个规模较大的物流园区电站一样，所发的电量都投入到电网中，根据电价政策，用电需求等因素灵活地选择并网运行，以实现收益最优化。

### （五）组件类型丰富

涉及单晶硅，多晶硅和薄膜电池领域。单晶硅具有转换效率高，稳定性强等特点，常被应用在有发电需求的领域中；多晶硅的成本低、市场占比高；薄膜电池轻、薄、可以柔性弯曲、适合曲面屋顶使用。如新上高端写字楼采用单晶硅组件保效供电、老旧小区改造选用性价比更高多晶硅、不同场景根据需求适配等。

### （六）运营主体多元

涉及企业，居民，社区和能源投资公司。企业自建电站，降本增效；居民的投入享有补贴和电费节省；社区集中建设，让所有住户都受益；能源投资公司的大规模运作。例如一个小区主导建设的500kW电站统一运维、电费减免反哺住户、各方面的参与使得分布式光伏百花齐放。

## 二、分布式光伏电站高效运维的必要性

### （一）保障发电效率稳定

光伏组件工作时间较长，其性能衰减难以避免，灰尘，污垢，热斑和隐裂的失效加剧了效率的下降。如果运维有效，经常对部件进行清洁，巡检和维修，就可以延缓衰减和消除故障。某沿海分布式电站由于海风携带盐雾对部件的冲刷，一开始不注重运行维护，发电效率逐月下降，经过强化清洁，保护运维，将效率稳定到合理范围内，确保了连续平稳供电。

### （二）延长电站使用寿命

高品质的光伏组件具有超过25年的设计寿命，然而，在恶劣的环境条件和不当的运营维护下，其使用寿命将会显著减少。合理的运维可以对组件，支架和逆变器的老化和磨损情况进行监测，并对易损件进行及时的替换，以免小毛病的加重。如一个山区的小电站，支架被雨水冲刷锈蚀没有处理好，几乎垮塌，经过及时的除锈加固，使电站重新回到轨道上，连续运行了好几年，节约了重建费用<sup>[2]</sup>。

### （三）确保电网接入安全

分布式电站并网运行时，如果无功调节，谐波治理不到位，将诱发电压波动和闪变等问题，从而影响电网的电能质量。运维

人员通过对逆变器参数的精准调控和滤波装置的设置确保了电网的稳定运行。曾经某城市商业区的电站由于在夏季用电高峰期逆变器超负荷运行，没有及时进行调整，导致周围商家电压不稳和电器损坏，加强运维之后排除了隐患。

### （四）提升经济效益

高效运维，减少故障损失电量，降低维修成本，优化发电收益。在某企业的屋顶电站运营中，运维前每年平均出现10次故障停电，导致5万千瓦时的电量损失。但经过运维的优化，停电次数减少到了2次，从而节省了3万元的维修费用，并增加了8万元的发电收入，使得投资回报率得到了显著的提高。

### （五）满足政策合规要求

各地区都有分布式光伏的建设，运维规范，符合标准的才能获得补贴和并网许可。完整的运维记录和检测报告以及合规的电站参数才能继续运行。如某区补贴政策规定电站发电效率年际衰减不超过1倍，并且运维及时报料、合规运维保障企业享受政策红利等。

### （六）增强能源供应可靠性

分布式电站和大电网相互补充，确保区域用电特别是极端天气和电网故障情况下的用电。运维较好的电站能够在关键时刻紧急提供电力，例如暴雨导致局部电网断电，小区内分布式电站保持公共照明和电梯运行等，确保了居民的基本生活，突出了运维对于能源韧性建设的重要性。

## 三、分布式光伏电站运维现存问题

### （一）设备故障频发

光伏组件在长时间的日晒雨淋作用下，封装材料出现老化，电池片隐裂和热斑等现象；逆变器电子元件在温度，电磁干扰的作用下容易损坏，散热不佳经常会出现故障停机现象。在某一老旧小区电站中，经过5年的运营，有30%的组件出现了不同程度的隐裂现象，逆变器在夏季的故障率甚至超过了15%，这严重妨碍了电力生成，并且故障诊断过程既耗时又费力。

### （二）监测手段落后

一些小型电站单纯依靠人工定期巡检的方式，难以实时了解组件的运行参数，电气性能等情况，出现故障也很难被及时发现。例如边远的农村户用电站没有远程监控，部件发生故障几天后才被发现，其间电量流失严重，而且人工巡检受到天气，交通等条件的限制，频率难以得到保障<sup>[3]</sup>。

### （三）运维人员专业素养不足

分布式电站的运行维护需要电气，光伏，机械等多个领域的知识，目前人员的技能良莠不齐，初出茅庐，经验不足，对于复杂的故障的诊断，维修能力较弱。例如某新建投运的商业电站运行维护人员的误操作导致逆变器参数错乱、发电中断等问题，体现了培训体系不够健全、缺乏实践锻炼的机会等。

### （四）备件管理混乱

电站备件品种繁多，型号杂乱无章，一些运维单位没有建立科学的库存管理，备件不足耽误了检修，积压占用了另一笔经费。某中型电站由于没有对逆变器的更新换代进行追踪、对老型

号主板进行储备、出现新的故障需要新的机型时没有货、应急购买费时1周、在此过程中电站“趴窝”造成了巨大损失。

#### （五）巡检制度不精细

巡检路线，内容和周期设计不尽合理，往往走马观花式地进行，关键部位排查不细致，隐患疏漏严重。比如一个工业园区的电站，巡检没有分清高低辐照区部件的不同，对低辐照区光照不足的长期隐患也没有及时的发现，最后致大范围的低效发电和高昂的整改费用。

#### （六）环境因素应对乏力

面对暴雨、沙尘、暴雪等极端气候，防护、清理措施不到位。暴雪后光伏板积雪若不及时清除，重压损坏组件且遮光；沿海电站防腐蚀手段单一，金属部件锈蚀快。如北方某电站，暴雪致20%组件变形，修复费用高昂，凸显应急防灾短板。

#### （七）与电网协同困难

分布式电站星罗棋布，电网调度难以准确掌控实时发电情况，特别是用电峰谷切换，电网故障等情况下，电站调节无法及时跟上，影响了供电稳定。例如在城市用电的晚峰时段，一些电站没有按照调度进行降功率处理，致局部电压超限，体现了双方信息交互，协同机制的缺失<sup>[4]</sup>。

### 四、分布式光伏电站的高效运维策略

#### （一）构建智能监测系统

采用物联网和大数据技术对组件和逆变器等安装传感器进行电压，电流，温度和辐照度的数据采集并实时传达到监控平台。如一个大的分布式集群通过智能监测的方式实时了解千余套光伏板的情况，当出现参数异常情况时系统会自动报警并被运维人员的手机端所接收，通过精确地确定故障的位置，将处理问题的时间从“事后”转移到“事前”，这大大减少了停电的持续时间。

#### （二）推行精细化巡检

依该电站的布置，组件朝向及历史故障等情况绘制了详细的巡检图，并对重点巡检和常规巡检区进行了判别，确定了各区的巡检项和周期。对高辐照，高温区的部件进行热斑加密检验；风沙较大的地区着重检查积尘，磨损情况。象西北戈壁电站一样，巡检员按照“红橙黄”三色分区域进行巡视，红的高危区日检查，橙的周检查，黄的月检查，并配合检查表，照相记录等方式，保证隐患无处藏身。

#### （三）强化运维人员培训

与高校和设备商共同进行了涉及电气原理，光伏技术和运维软件操作方面的理论和实操培训，并在培训结束时进行了考核上岗和定期回访。某能源公司派遣了运维团队到生产厂家进行逆变器维修的实地学习，他们在返回工作岗位后，独立处理故障的效率提高了60%，并且还建立了一个内部交流的平台来分享实际案例，使得新员工的成长速度非常快。

#### （四）优化备件管理

在信息化软件的支持下，对备件的全生命周期进行管理，并根据故障率，采购周期和重要性等因素进行分类控制。常见易损

件的安全库存报警补货等；关键备件和厂家签订了应急供货协议；淘汰备件及时处置。例如，通过对某电站的管理进行优化，备件的库存成本减少了30%，而维修的时效性也从70%增加到了95%，确保了运营的连续性。

#### （五）完善应急处理预案

对火灾，极端天气和大面积停电等情况建立预案，确定应急流程，人员分工和物资储备等。经常性的演练和模拟故障场景来测试协同作战能力。某个沿海的分布式电站在遭遇台风之前，都会根据预先制定的预案进行组件加固和备件转移。台风过后，电站迅速进行抢修，并在3天内恢复了80%的发电能力，从而将损失降至最低，这也突显了预案的实际效果<sup>[5]</sup>。

#### （六）加强与电网互动

设置智能电表，通信模块将发电数据实时上报给电网，并接受调度指令根据电网负荷和电压的波动情况进行功率的自动调整。例如在东部发达地区通过分布式电站和电网搭建双向互动平台实现用电峰谷期的精准应对调控、削峰填谷等措施确保地区电力供需平衡和电能质量的改善。

#### （七）创新运维模式

探索运维外包，托管和众包的多元创新模式对于分布式光伏电站的运维具有重要的指导意义。对于规模不大，技术力量较弱的小型电站来说，把运维工作交由有经验的专业公司来承担无疑是一种明智的选择。专业公司以过硬的工艺、足够的人力和成熟的工艺，能够保证电站平稳高效地运转，使业主省心。并从社区电站的层面上，激励居民志愿者全身心地投入到外观巡查，基础数据记录这些简单的巡检工作中，当遇到复杂的专业问题时，及时交由专业的运维团队解决。例如，某个社区大胆地实施了“居民加职业”的众包运维策略，这不仅显著地减少了电站的运维成本20%，而且在团队合作和互动中大大增强了社区的凝聚力，确保了绿色能源在社区生活中的稳固地位。

### 五、结语

分布式光伏电站是绿色能源的先行者，在能源变革的大潮中具有巨大的发展潜力。在当前存在的运维难题下，采取智能升级，精细管理，人才赋能和协同创新的策略来建设高效的运维体系能够确保电站的持续稳定和高效的运行。这在提高能源利用效益，助推经济绿色发展的同时，也为未来全球筑牢了分布式能源的基础，各方面应该共同努力，共同开启光伏运维的新篇章。

### 参考文献

- [1] 杨洪雷. 分布式光伏电站运维管理与发展趋势[J]. 上海节能, 2022, (09): 1137-1142.
- [2] 顾炜晨. 分布式光伏电站运维管理的发展趋势[J]. 自动化应用, 2023, 64(03): 58-61.
- [3] 陈洪明. 分布式光伏电站发电量提升路径研究[J]. 光源与照明, 2023, (01): 130-132.
- [4] 马三妹. 分布式光伏电站监测及能效分析系统的研究与开发[D]. 电子科技大学, 2021.
- [5] 李敏. 分布式光伏电站监测及能效分析系统的研究与开发[D]. 华北电力大学(北京), 2016.



# 电气工程自动化在电力系统运行中的应用

汤卓

国网武汉供电公司江岸供电中心，湖北 武汉 430014

**摘要：** 电气工程自动化是电力工程与自动控制技术相结合的一门新兴学科，其目的是使电网安全、高效、稳定地运行。它的内涵是对电气设备进行智能控制，例如电动机自动调速、开关遥控等。本文通过对电网运行参数的实时监控和分析，及时发现电网中存在的潜在问题，提出相应的预警措施，同时提出一种基于自动控制的电网调度方案。

**关键词：** 电气工程自动化；电力系统；自动化控制；智能电网

## Application of Electrical Engineering Automation in Power System Operation

Tang Zhuo

State Grid Wuhan Power Supply Company Jiang'an Power Supply Center, Wuhan, Hubei 430014

**Abstract:** Power engineering automation is an emerging discipline that combines power engineering with automatic control technology, aiming to ensure the safe, efficient, and stable operation of the power grid. Its connotation is intelligent control of electrical equipment, such as automatic speed regulation of electric motors, remote control of switches, etc. This article detects potential problems in the power grid in a timely manner through real-time monitoring and analysis of operating parameters, proposes corresponding warning measures, and proposes an automatic control based power grid scheduling scheme.

**Keywords:** electrical engineering automation; power system; automated control; smart grid

## 引言

文章从多个角度对电气工程自动化技术在电网运行中的应用进行较为详尽的论述。首先对电气工程自动化的概念、内涵、发展历程和发展趋势进行阐述，然后对其在发电、输电、配电等环节的具体应用和关键技术进行详细的阐述，对其在电力系统中的应用进行研究，分析其在电力系统的运行效率、稳定性、智能化等方面的促进作用，指出在实际应用中所遇到的数据安全、技术标准、人才培养等方面的问题，以期为电力系统中的电气工程自动化的更好地应用于电力系统提供理论基础和实际指导。

## 一、电气工程自动化的发展历程与趋势

电气工程自动化技术经过几个时期的发展，最早的时候它只是一种简单的电器自动控制，比如继电器逻辑控制。近年来随着电子与计算机技术的快速发展，可编程控制器（Programmable Logic Controller, PLC）、分布式控制系统（Distributed Control System, DCS）等相继问世，极大地提高自动控制的准确性与灵活性。后来人工智能、大数据和物联网等新兴科技的出现，电力系统的智能化、网络化和集成化程度不断提高。比如智能电网的构建利用先进的通信技术和自动化技术，把电力系统中的源、输电、配电、用电等各个环节进行密切的连接，使电力流、信息流、业务流都得到很好的结合，从而适应当今社会对用电的不断提高和对电能品质的要求。<sup>[1]</sup>

## 二、电气工程自动化在电力系统运行中的应用

在电网运行过程中，电气工程自动化涉及到发电、输电、配

电等各个方面，工程人员采用一系列的自动化技术和装备，能够使电网的运行和管理达到最大效率。因此在电源端可以对电源的控制流程进行优化，改善电源的效率，对分布式电源进行高效地管理；在传输端，它能保证传输线的安全性和稳定性，并能灵活地调节传输参数。另外，在配电网中，电气工程自动化可以提高配电网的可靠性、智能化程度，并对用户侧用电进行合理的调度。

## 三、电力系统运行中的电气工程自动化关键技术

### （一）自动化控制技术

自动化控制技术是电气工程自动化的核心技术之一，它是指通过对电网中各类装置及生产工艺进行控制，从而保证电网的安全稳定运行，比如为了保证电厂机组的安全和高效运行可以应用自动控制系统。常用的自动控制方法有比例-积分-微分（PID）控制、模型预测控制等，其中PID控制具有结构简单、可靠性高等优点，在电力系统中具有广泛的应用；预测模型能够更好地应

作者简介：汤卓（1990.06-），男，汉族，硕士研究生，工程师，研究方向：电力系统及其自动化。



对多变量强耦合的复杂电网控制问题，根据未来的负荷变化预先调节电源的出力，从而保持电网的频率稳定性，如电网的负载频率控制。<sup>[2]</sup>

## （二）电力系统监测与诊断技术

为了保证电网的可靠运行，对电网进行监控和诊断是非常重要的。工程人员利用各种传感器，如电流互感器、电压互感器、温度传感器等，可以对电网运行中的电量、非电气量等进行实时监测。在此基础上，工程人员综合运用数据挖掘、机器学习等数据处理与分析方法，能够深入研究电网设备的运行状况，并对其进行故障诊断。比如通过分析变压器油中的溶解气体就能判断出有无绝缘缺陷，采用振动传感器对电动机进行振动状态监测，并对电动机轴承的磨损进行预报。<sup>[3]</sup>这种监测与诊断技术能够及时发现电力系统中的潜在故障，提前采取措施进行修复，避免故障扩大化，从而提高电力系统的可靠性和安全性。

## （三）智能电网技术

智能电网技术是现代电力系统发展的重要方向，该系统将现代信息技术、通信技术、自动化技术、电气技术相结合，构成一个具有高度智能性的电网。智能电网具有较强的自愈能力，能够在电网出现故障时自动检测、定位故障位置，快速地进行隔离与抢修，缩短停电时间。比如通过将分散式智能开关与自动保护设备相结合，可以在不发生故障的情况下迅速地故障线路隔离，并使其在未发生故障的情况下，能够自动恢复电力。

另外，工程人员通过智能电表、需求响应等技术，能够对客户用电需求及市场电价信号进行实时监控，并结合电网运行状况及负载状况，对电源资源进行合理调配，提升电网经济与资源使用效率。同时随着太阳能、风能等新能源在电网中所占比重的日益增大，智能电网能更好地协调新能源与传统电源间的联系，支撑新能源并网消纳，使其平稳并网，从而推动新能源可持续发展。

# 四、电气工程自动化在电力系统运行中的具体应用

## （一）发电环节应用

### 1. 自动化发电控制（AGC）

自动化发电控制（Automatic Control, AGC）是现代电网中发电环节中一项重要的应用技术。AGC系统通过与电网调度中心进行通讯，从系统中接受负载命令，并基于每台机组的特点及工作状况，对每台机组的出力进行调节，并向机组调速器、励磁系统发出控制信号，以达到准确调节发电功率的目的。比如在电网负荷峰值时，AGC将自动提高出力，在用电低谷时适当降低出力，以确保电网的供需均衡，增强电网的稳定与可靠性。<sup>[4]</sup>

### 2. 分布式能源发电管理

随着太阳能、风能等分布式电源的大量使用，如何对分布式能源发电进行高效的管理就成了一项重要的工作。工程人员通过对分布式新能源发电功率、电压、电流等参数的实时监控，并结合天气状况（太阳辐射强度、风速等）可以对分布式新能源发电容量进行预测。同时结合电网实际情况，对分布式能源的发电调

度进行优化，实现分布式能源与常规电源的协同。<sup>[5]</sup>

## （二）输电环节应用

### 1. 输电线路自动化巡检

输电线在电网中起着举足轻重的作用，输电线路巡检是利用无人机、机器人等智能装备与现代传感技术、图像识别技术相结合，实现对输电线路的全方位、全天候巡视。另外，采用高清摄像机、红外热成像等技术对线路绝缘子、导线、金具等部件进行拍照、探测，获得线路外表图像及温度场信息，并利用图像辨识算法，实现对线路绝缘子破损、导线磨损、过热等故障的自动识别。<sup>[6]</sup>其中机器人能够在导线上行走，完成对导线的近距离监测与维修工作，例如清理导线表面的异物、紧固螺栓等。

### 2. 柔性输电技术（FACTS）

灵活传输（FACTS）是一种以电力电子器件为基础的新型输电控制技术，可以实现对线路电压、无功、阻抗等参数的灵活调整，提升电网的传输容量与稳定性。如 SVC 能在电网中迅速地进行无功补偿，保持电压稳定；STATCOM 的动态响应性能较好，对电压、无功控制更为准确；TCSC 能够通过改变线路等效阻抗来调节功率流。

## （三）配电环节应用

### 1. 配电自动化系统（DAS）

配电网自动化是改善配电网运行可靠性、改善供电品质的一项重要技术。工程人员通过将智能开关、智能电表、数据采集终端等装置安装到配电网中，可以构成一套涵盖整个配电网的自动监测和管理体系。在配电网出现故障时，分布式电源系统可以快速发现故障位置对非故障区域进行自动隔离，调整非故障区域的供电模式，从而达到快速处理故障、快速恢复供电的目的。<sup>[7]</sup>

### 2. 需求侧响应管理

DSM 是一种通过对用户进行电力消费行为的激励，实现对电网最优运营的一种管理方式。在电子工程自动化的支撑下，利用智能电表和通讯网络等技术可以对用户的用电信息进行实时的收集，同时向用户反馈电网的负荷状况、电价等信息。在此基础上，用户可以对其使用的的时间和电力进行主动的调节，例如在价格低谷期将洗衣机、电热水器等用电设备的使用增加到一定程度，在价格高峰期间，可以减少不需要的电力消耗。除此之外，电力企业也能够依据客户的需求侧反应状况，对其进行合理的生产计划与用电调度，减少电网峰谷差异，增加电网的负载率，优化电网资源分配，并能使用户得到相应的经济补偿，达到“两方共赢”的目的。

# 五、电气工程自动化应用对电力系统运行的影响

## （一）提高电力系统运行效率

在电力系统中采用电气自动化技术，可以实现电网各部分的智能化和自动化，极大地提高电网的运行效率。在电源侧自动电源控制（AGC）可依据负载变化对电源功率进行精准调节，有效防止电源过负荷或低负荷运行，提升电源利用率。在传输端灵活传输（FACTS）可通过传输参数的优化来减少传输损失，提升传

输容量。<sup>[8]</sup>

## （二）增强电力系统稳定性与可靠性

电力工程自动化是保证电网稳定可靠运行的重要保证。在电网运行过程中采用自动监控和故障诊断方法，可以对电气设备的运行状况进行实时监控，并对其进行检测，以防止故障扩大。比如通过对重要设备如变压器、发电机等进行实时监控，及早发现异常的温升和振动，并对其进行维修和维修，避免因突发故障而造成的停电事故。在输电过程中通过对输电线路进行在线监测，可以及时地检测出线路中存在的缺陷或故障，从而保证其安全、稳定地运行。

## （三）促进电力系统智能化发展

在电力系统智能化进程中，电气工程自动化是其核心驱动因素，随着自动化、信息、通讯等技术的广泛运用，电力系统正逐步走向智能化。比如工程人员将智能传感器、智能装置大量应用于电网，以达到对电网运行状况的全方位感知。因此为了提高电网的柔性、自适应能力，需要采用智能控制技术对电网进行智能控制，也为新一代电网的创新发展打下坚实的基础，如大规模的分布式能源接入、电动汽车充电管理等。<sup>[9]</sup>

# 六、电气工程自动化应用面临的挑战与对策

## （一）技术难题与挑战

### 1. 数据安全与隐私保护

随着电网自动化技术的普及，电网运行的各个环节都会产生海量的电能数据，由于其包含电网运行状态、用户用电等多个方面的重要信息，因此对其数据的安全性和隐私保护提出了更高的要求。一方面，网络攻击会对电网造成极大的威胁，黑客可以侵入电网，盗取电网数据，并对电网运行参数进行修改，造成电网故障甚至瘫痪。比如最近几年出现的几起网络袭击事件导致多个地方大面积断电，对社会产生巨大的冲击。另一方面，由于电力用户的用电习惯、用电设备个人等隐私信息，在存储与分享的过程中还会产生一些潜在的隐私泄漏风险。<sup>[10]</sup>为了应对数据安全和隐私的挑战，电力公司必须建立起一套完善的网络安全防御系统。

### 2. 技术标准与规范不统一

由于电力工程自动化项目涉及到多个专业、多个厂家，因此当前电力系统的相关技术标准还不够统一，由于各制造企业的自动化设备在接口、通讯协议、数据格式等各不相同，使得其难以实现一体化与互操作。因此为了解决目前电力工程自动化中存在的技术标准不够统一等问题，必须发挥行业标准化机构的作用，制定出一套完整的电力工程自动化技术标准与规范，涵盖设备接口、通信协议、数据模型等各个方面，促进设备制造商之间的技术交流与合作，推动电力系统自动化设备的标准化和规范化发展，提高电力系统的兼容性和可扩展性。

## （二）人才培养与管理挑战

### 1. 复合型人才需求

在电力系统中，电气自动化技术的发展要求具有较高的综合素质和较高的综合素质。但是在当前的电力系统中，这种复合型

的人才却比较匮乏，传统的电力工程师缺乏自动化和信息技术方面的知识，很难适应电力工业自动化的发展需要。为了培养出更多的复合型人才，大学和高职学院要对课程进行优化，增强电子工程与自动化、计算机科学、通信工程等多个专业之间的相互渗透，通过设置综合的课程和实习提高学生的多学科思维和动手能力。

### 2. 人员管理与组织变革

随着电网自动化的不断发展，电网企业的人事管理、组织结构都要进行相应的改革。传统的电力企业的管理方式与组织结构都是以用电设备的运行维护与手工作业为核心，而在自动化的环境中一些人工操作被自动化装置和系统所代替。这就需要对电力公司的员工进行岗位设置与职责划分，进行人力资源的优化配置。同时为了满足电力工程自动化的要求，电力企业必须建立更加灵活高效的组织管理方式，在企业内部强化信息管理、提升决策的效率以及推动各部门间的协作，进而建立与智能电网建设相适应的创新组织结构。

# 七、结语

在电力系统中，电气工程自动化是一项十分重要的工作。工程人员通过在源、网、配等多个环节的深度应用以及一系列关键技术的支持，能够使电网的运行效率、稳定性和智能化程度得到明显提升。但在实际应用中，还存在着数据安全性、技术规范和人才培养等方面的问题。电气工程企业唯有主动迎接这一挑战，从技术创新、完善标准规范、培养复合型人才以及推进组织改革等方面入手，才能使电气工程自动化在电力系统中的优势得到最大程度的发挥，使电力系统朝着更智能、更高效、更可靠的方向发展，进而满足现代社会日益增长的电力需求，为经济社会的稳定发展提供坚实的电力保障。

## 参考文献

- [1] 黄志华, 朱菁文. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探讨 [J]. 现代交通与冶金材料, 2023, 3(S1): 158-160.
- [2] 葛议鑫. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 光源与照明, 2023, (04): 189-191.
- [3] 张四海. 电力系统运行中的电气工程自动化技术研究 [J]. 数字通信世界, 2023, (12): 26-28.
- [4] 王子涵. 自动化技术在电力运行系统中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(01): 250-251. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.01.114.
- [5] 周荣斌, 李艳坤. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 光源与照明, 2022, (11): 228-230.
- [6] 刘煜. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 中国新通信, 2022, 24(21): 74-76.
- [7] 朱敏忠. 基于电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 科技风, 2022, (16): 85-87. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.2022.16.028.
- [8] 陶进秋. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用研究 [J]. 光源与照明, 2024, (04): 219-221.
- [9] 郭丹. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 石河子科技, 2021, (06): 10-11.
- [10] 刘志超. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用试析 [J]. 中国设备工程, 2021, (18): 192-193.

# 特种电缆在极端环境下的可靠性分析

周春和

江苏华能电缆股份有限公司，江苏 高邮 225699

**摘 要：** 特殊电缆在极端环境中的可靠性分析对其在航空航天、深海探测等关键领域的应用至关重要。本文首先介绍了极端环境对特殊电缆性能的威胁及其重要性。接着，分析了不同极端环境（高温、低温、高辐射、腐蚀性等）对特殊电缆性能的影响机理，探讨了电缆材料、结构与失效模式之间的关系。随后，通过统计分析和物理模型，建立了特殊电缆在极端环境下的可靠性评估方法。针对提升电缆可靠性的技术需求，提出了先进材料开发、强化结构设计和智能监控技术的发展方向。最后，总结了当前技术局限性，并展望了未来研究的潜力。本文旨在为特殊电缆的可靠性设计与应用提供理论参考与技术指导。

**关 键 词：** 特殊电缆；极端环境；可靠性分析；失效机理；先进材料；智能监控

## Reliability Analysis of Special Cables in Extreme Environments

Zhou Chunhe

Jiangsu Huaneng Cable Co., LTD. Gaoyou, Jiangsu 225699

**Abstract：** The reliability analysis of special cables in extreme environments is critical to their applications in crucial fields such as aerospace and deep-sea exploration. This paper first highlights the threats posed by extreme environments to the performance of special cables and emphasizes their importance. Subsequently, it examines the mechanisms by which various extreme conditions (high temperature, low temperature, high radiation, corrosion, etc.) impact cable performance, exploring the relationships between cable materials, structures, and failure modes. Reliability evaluation methods under extreme environments are established through statistical analysis and physical modeling. To address the need for greater cable reliability, the paper proposes advancements in material development, enhanced structural design, and intelligent monitoring technologies. Finally, the current limitations are summarized, and future research directions are outlined. This paper aims to provide theoretical references and technical guidance for the reliability design and application of special cables.

**Keywords：** special cables; extreme environments; reliability analysis; failure mechanisms; advanced materials; intelligent monitoring

## 引言

随着现代工业技术的快速发展，电缆作为输电和信号传输的关键载体，在多种苛刻环境下发挥着不可或缺的作用。这些环境包括航空航天的极度高低温、高速铁路的强机械振动、海洋工程中的高湿度腐蚀环境以及核电站等场景的强辐射暴露。传统电缆在上述极端环境下容易受到材料劣化、机械损坏或电气性能失效的影响，从而导致安全隐患或系统故障。因此，为适应这些特殊场景需求，特种电缆成为一种针对环境特殊需求而设计的关键技术产品。特种电缆不仅在材料选择上更注重耐候性、耐辐射性或耐腐蚀性，还需通过优化结构和制造工艺来保障其在恶劣条件下的长时间可靠运行<sup>[1]</sup>。

## 一、极端环境对特种电缆的作用机理

特种电缆作为在极端环境下运行的关键元件，其性能和可靠性直接受到外部环境的影响。极端环境包括高温、低温、高湿度、腐蚀性气体、强辐射以及机械应力和振动等因素，这些环境条件会以各种方式影响电缆材料的性能和寿命。以下分别探讨这些环境因素的具体作用机理。

### （一）高温环境对电缆的影响

高温环境是一种常见的极端工况，对电缆的绝缘层、导体和

护套材料都可能产生显著影响：

- 热老化：高温会加速电缆材料中聚合物的分子链裂解，导致绝缘层和护套的机械性能下降，如脆化现象。这被称为热氧化老化过程，尤其在持续高温环境下更为显著。
- 介电性能下降：绝缘材料在高温环境下的介电常数和击穿电压会降低，影响电缆的电气性能，增加故障风险。
- 热塑性变形：对于热塑性材料制成的护套，高温可能导致其软化或融化，影响结构稳定性和机械强度。
- 金属导体的热膨胀：高温会引起导体的热膨胀，特别是

作者简介：周春和（1974.06—），男，汉族，江苏扬州高邮市人，大专，工程师，研究方向：特种电缆研发，身份证号：321022197406190816 邮箱：245749086@qq.com



铝和铜导体的线性膨胀系数较高，这可能导致接触点松动或电阻变化。

## （二）低温环境对电缆的影响

低温环境同样对特种电缆具有挑战性，尤其是在极地或高海拔地区，其影响体现在以下几个方面：

1. 绝缘和护套材料的低温脆化：在低温环境下，聚合物材料可能失去柔韧性，表现出脆化特性。裂纹容易在机械载荷或应力集中区域产生，影响电缆的机械性能。
2. 导体电阻变化：低温会降低导体的电阻，这对传输效率可能是一个积极的影响，但对系统的热管理需加以注意。
3. 动态性能的下降：低温环境会限制电缆的弯曲半径和灵活性，电缆的动态适应性显著降低，不适合频繁操作或运动场景。

## （三）高湿与腐蚀性环境的影响

高湿度和腐蚀性气体环境对特种电缆影响复杂多样，主要表现在：

1. 绝缘性能的降低：水分侵入电缆后会极大降低绝缘电阻，尤其在长时间暴露的情况下，可能导致绝缘失效。
2. 电化学腐蚀：腐蚀性气体（如氯气、硫化氢）与湿度结合会加速金属部件的腐蚀，例如屏蔽层或导体的氧化过程，缩短电缆寿命。
3. 霉菌生长：在高湿环境中，某些聚合物材料可能成为霉菌生长的温床，进一步削弱材料的结构性能。
4. 外护套的渗透与劣化：高湿环境会增加护套材料的吸水性，使得电缆材料内部的水分迁移加剧，从而损害绝缘层。

## （四）强辐射环境对电缆的影响

在核工业和空间应用等场景中，特种电缆通常面临辐射环境的考验，这对电缆材料的化学结构和性能提出了特殊要求：

1. 辐射交联效应：高剂量辐射会引发聚合物材料的交联反应，表现为机械强度和热稳定性的增强。然而，过量辐射会导致材料脆化。
2. 介电性能变化：辐射可能导致绝缘材料中电荷累积，形成空间电荷效应，这对电缆的长期电气安全构成威胁。
3. 颜色和外观变化：一些聚合物材料暴露于辐射下会发生显著的着色或表面老化现象，这可能成为性能退化的早期指示信号。
4. 失重现象：辐射环境中，高分子材料可能出现小分子化化合物的挥发或分解，导致重量损失及结构变化。

# 二、特种电缆在极端环境下的可靠性分析

在极端环境下，特种电缆的可靠性分析是一项复杂而系统的工作，需要结合材料劣化机制、关键结构的失效模式以及科学的分析方法来进行全面评估。本部分将围绕材料的劣化机制、电缆的典型失效模式、常用的可靠性分析方法及性能评估指标展开探讨。

## 1. 电缆材料的劣化机制

特种电缆在极端环境中长期运行，其材料容易受到外界物

理和化学作用的影响而发生劣化。劣化机制主要包括以下几个方面：

●热氧老化：聚合物类绝缘材料（如交联聚乙烯、聚氯乙烯等）在高温和氧气的联合作用下，其分子链会发生断裂或交联，导致材料的机械强度和电气绝缘性能下降。热氧老化是导致电缆使用寿命缩短的重要原因。

●辐射老化：核电、航空航天等应用场景中，特种电缆需在强辐射环境下工作。电缆的聚合物材料在受到  $\gamma$  射线、电子束等辐射作用时，可能发生分子链断裂、交联、氧化等反应，从而造成材料性能恶化。

●水解作用：在高湿度或水下环境中，某些电缆材料（如酯类聚合物）可能发生水解反应，导致绝缘性能下降，伴随机械柔韧性减弱，尤其是在持续浸水环境中表现尤为显著。

●金属导体的氧化和退化：金属导体（如铜、铝等）长时间暴露于高温、高湿或腐蚀性气体（如氢气、硫化物）环境中，容易发生氧化或氢脆现象，导致机械强度下降和导电性降低。此外，高频震动可能引发金属疲劳问题，使导体材料逐渐丧失可靠性。

## 2. 电缆关键结构的失效模式

特种电缆的结构复杂，其关键部件在极端环境中容易出现以下失效模式：

●屏蔽层的失效：屏蔽层主要用于保护电磁兼容性和减少外界干扰。然而，在高温、高湿或机械应力反复作用下，屏蔽层的完整性可能受到破坏，如出现开裂或剥离，影响信号传输性能。

●电缆芯的退化：电缆芯不仅需要满足导电性能要求，还需承受一定的机械强度。在长时间高温、高压场作用下，电缆芯的表面可能出现裂纹或腐蚀现象，进而引发整体结构的机械损伤。

●护套的老化和破损：护套是电缆的重要保护层，其劣化直接影响电缆的机械和电气性能。在极端环境中，护套可能因热胀冷缩频繁、紫外线照射或化学腐蚀而失效，如发生变硬、开裂或脱落。

●接头和终端连接的可靠性问题：接头和终端作为电缆系统的薄弱环节，容易因温差变化、潮气侵入或不良安装工艺导致接触不良、局部电弧或击穿等问题。这类问题可能进一步扩展，导致整个电缆系统失效。

## 3. 可靠性分析方法

为了准确评估特种电缆在极端环境下的性能稳定性，可采用以下可靠性分析方法：

●加速老化试验：通过模拟电缆在实际应用中可能遭遇的极端环境条件（如高温、强辐射），并加速其老化过程。例如：

○热老化试验：将电缆样品置于高温炉中测试，观察其老化特性。

○辐射老化试验：利用  $\gamma$  射线或电子束设备分析电缆材料在强辐射下的性能变化。

●振动疲劳试验：针对电缆在震动频繁的工作场景，开展多频率、多幅值的振动实验，以评估其疲劳寿命。同时结合仿真技术，预测长时间振动作用下的劣化行为。

●综合环境试验：在实验室中，模拟多重极端环境（如高温-高湿-振动联合测试），观察电缆在复合应力环境中的可靠性特点。这种方法更加贴近实际运行中的复杂工况。

#### 4. 性能评估指标

在可靠性分析中，需选取合适的性能评估指标，以便对电缆的工作能力和寿命进行量化评估。以下是主要的性能评估指标：

##### ●电气性能：

○绝缘电阻：反映电缆绝缘材料的电气完整性，绝缘电阻降低会导致泄漏电流增加，影响系统安全。

○耐压强度：评估电缆在高电压作用下承受电气击穿的能力，是衡量电缆可靠性的重要参数。

##### ●机械性能：

○拉伸强度：测量电缆或其材料抵抗外力拉伸的能力，是防止断裂的关键指标。

○抗疲劳性：在多次反复弯曲后保持机械完整性的能力，尤其重要于机械振动频繁的应用场景。

综上所述，通过对特种电缆在极端环境下的性能全面分析，可以揭示其劣化规律、失效机理和运行寿命特性，为提高其可靠性设计和长期稳定运行提供科学依据。

### 三、提升特种电缆可靠性的关键技术

在极端环境中提升特种电缆的可靠性，需要通过多方面的技术手段进行综合优化，从材料、结构、制造工艺到监测和维护，全方位确保电缆性能的稳定性与耐久性。以下将针对关键技术进行详细探讨<sup>[2]</sup>。

#### （一）材料技术的改进

特种电缆可靠性的提升，离不开材料的选择和改性。优质材料是电缆应对极端环境的基础：

●耐高温与低温材料：针对高温环境，采用耐热聚合物、陶瓷基复合材料等高性能材料；对低温环境，需选用低温柔性材料如氟塑料或聚氨酯改性树脂，确保材料在极低温条件下保持良好的柔韧性和机械强度。

●抗腐蚀材料：在化学腐蚀环境中，研究采用高耐腐蚀性材料，如稀有金属涂层或复合防护层，以抵御酸碱化学品和盐雾腐蚀。

●抗辐射与抗老化材料：利用交联聚乙烯、聚酰亚胺等材料提高电缆长期抗老化性能，同时添加抗辐射剂或引入特殊屏蔽层以适应强辐射场景。

#### （二）结构设计的优化

电缆的独特结构设计是确保其性能稳定的关键。通过对层级、保护套以及内部排列的优化，能够显著增强电缆的承载能力和环境适应性：

●多层复合结构：采用多层屏蔽和保护结构，例如内外两层护套设计，外部材料主防护机械损伤，内部材料提高耐温或电磁干扰防护能力。

●功能分区设计：将电缆的各部分功能模块化，例如导体、屏蔽层和外护套分别针对不同的环境需求进行设计，确保各单元具备最优性能。

●抗机械冲击结构：通过在电缆加入金属铠装、增强芯或使用高强度纤维编织层，显著提高抗压、抗拉及耐机械振动能力。

#### （三）制造工艺的创新

制造工艺是电缆性能的重要保障，采用先进技术确保材料与结构的完美结合：

●精密挤出技术：通过高精度挤出工艺，确保护套与绝缘层的均匀性和稳定性，避免空隙或偏差导致的性能降低。

●交联工艺改进：化学交联或物理交联（如电子束交联）优化绝缘层的分子结构，提升耐压性能和抗老化性能。

●表面处理与防护涂层技术：采用等离子表面改性、电镀涂层等工艺，增强电缆外表面对腐蚀和磨损的抵抗能力。

#### （四）环境保护技术的增强

通过外部保护技术，有效防止极端环境对电缆的直接侵害，从而间接提高电缆寿命：

●耐环境防护层：应用抗紫外线、防水、防沙尘涂层技术，提升电缆在室外恶劣环境中的长期稳定性。

●气密性与防水性增强：采用气密封装设计，并在多层结构中加入防水阻隔层，避免湿气侵入导致绝缘性能降低。

●防火阻燃技术：引入低烟无卤阻燃材料和高效防火涂层，确保电缆在火灾环境中的安全性。

### 四、结语

通过对特殊电缆在极端环境下的可靠性分析，本研究总结如下重要结论：极端环境（如高温、强寒、高湿、高压及强电磁场等）对特殊电缆的性能和寿命有着显著影响。这些环境因素可能导致电缆材料老化、机械性能劣化和电气性能下降，从而降低其运行可靠性。在研究中，我们发现优化材料特性、改进电缆结构设计以及采用先进的制造工艺可以有效地提高电缆的耐环境性和可靠性。此外，智能监测和预测技术的引入也在及时发现隐患方面取得了显著成效。研究表明，采用耐高温聚合物材料、复合绝缘层结构以及涂覆特种保护涂层等方法能够显著延缓电缆的环境退化过程。同时，基于多变量分析的寿命预测模型可以为特殊电缆的设计和维护提供可靠参考，从而最大化其使用寿命。在提高特殊电缆可靠性的技术措施中，材料工程与智能监控技术的结合发挥了至关重要的作用<sup>[3]</sup>。

### 参考文献

- [1] 赵斯佳；杜协和. 10kV 级电机电缆引出线及其连线绝缘技术研究 [J]. 防爆电机, 2022(05).
- [2] 尚朔. 电机引出线为多导电排结构的设计 [J]. 上海大中型电机, 2013(01).
- [3] 沈宏谋, 王丕力. 电磁调速电机激磁线圈引出线保护套 [J]. 中小型电机, 1995(05).



# 电力市场营销策略研究

邓晓伟

国网河南省宝丰县供电公司, 河南 平顶山 467400

**摘 要 :** 随着能源结构的深度调整和电力体制改革的持续进行, 本研究以电力市场营销为中心, 首先指出了它同时具有公共服务和商品营销的特点, 其次探讨了顺应能源转型, 适应多元需求, 增强企业竞争力营销的必要性, 再次对观念落后, 服务短板和渠道单一存在的问题进行剖析, 最后提出了精准定位, 数字化营销和优化服务的策略来帮助电力企业顺应市场的潮流, 实现可持续发展。

**关 键 词 :** 电力市场; 市场营销; 营销策略; 客户需求

## Research on Marketing Strategies in the Electricity Market

Deng Xiaowei

State Grid Baofeng County Power Supply Company of Henan, Pingdingshan, Henan 467400

**Abstract :** With the deep adjustment of energy structure and the continuous reform of power system, this study focuses on power market marketing. Firstly, it points out that it has the characteristics of both public service and commodity marketing. Secondly, it explores the necessity of adapting to energy transformation, diverse needs, and enhancing enterprise competitiveness in marketing. Thirdly, it analyzes the problems of outdated concepts, service shortcomings, and single channels. Finally, it proposes strategies for precise positioning, digital marketing, and optimized services to help power enterprises adapt to market trends and achieve sustainable development.

**Keywords :** electricity market; marketing management; marketing strategy; customer demand

## 引言

在能源结构深度调整和市场化惊涛拍岸的今天, 电力行业的格局发生了翻天覆地的变化。传统的供电模式遭到了突破, 电力这一特殊的商品需要面对市场竞争。准确把握营销特点, 洞察进行营销的需求, 克服存在的困难并制定适配策略是电力企业谋求生存和发展的关键所在, 也是本论文讨论的中心内容。

## 一、电力市场营销的特点

### (一) 产品特殊性

电力作为一种既无形又无色的独特商品, 其生产和消费几乎是瞬时同步完成的, 这就要求电力系统必须始终保持发电、输电、配电和用电的实时平衡。电力供应一断, 就会马上造成大范围的生活、生产混乱, 带来无法估量的经济损失与社会影响。所以在电力市场营销中一定要十分重视供电稳定性问题, 保证电网运行的安全性和可靠性, 从而满足用户对于连续、稳定用电的根本要求。这就需要电力企业不断强化电网建设与维护工作, 增强应急响应能力, 保证无论何种条件下均能够对用户进行不间断供电。

### (二) 公共服务属性

电力供应既关系着经济的发展, 也直接影响着社会的稳定与民生福祉。政府为了维护居民基本用电权益, 通常会严格控制电价与供电质量。所以电力市场营销不应该只追求经济利益而是要考虑社会责任的承担。这就决定了电力企业必须将电网敷设到偏

远、贫困地区, 哪怕这些区域电力收益很薄, 都必须保证基础用电服务能够得到推广。这样的公共服务属性决定了电力企业在进行营销时既要重视市场需求, 又要积极回应政府呼吁, 践行社会责任, 助力社会和谐稳定。

### (三) 客户广泛性

电力用户分布在各行各业, 有繁华都市摩天大楼、偏远乡村农家小院、耗能大的工业巨头、对电量要求较低的小微企业, 甚至每一个普通家庭都有可能成为电力市场潜在的用户。这些用户的年龄, 行业和地域都有很大不同, 用电要求也不一样。所以电力市场营销有必要对庞大的用户群体进行细分, 并针对不同人群的特征与需求有针对性地开展服务与营销策略研究。这就需要电力企业强化市场调研, 对客户需求进行深入调查, 并对产品与服务进行持续优化, 从而适应不同客户群体个性化的需求。

### (四) 技术依赖性

伴随着电网升级, 智能电表普及和电力大数据分析的创新, 电力市场营销越来越依赖科技。先进的技术既可以帮助企业准确

作者简介: 邓晓伟 (1985.03-), 女, 汉族, 河南省平顶山市宝丰县人, 本科, 工程师, 研究方向: 电力营销。

监控用电数据，对用电需求进行预测，又可以催生线上服务平台的发展，提升营销的效率与精准度。如果缺乏技术支持，电力市场营销就很难高效而准确地触及到用户。因此，电力企业需加大技术投入力度，引进大数据，云计算，物联网等先进建设智能化的营销体系以提高营销效率与客户满意度。

#### （五）受政策影响大

电力市场营销受能源政策，环保法规，电价改革等诸多政策因素影响较大。比如，随着“煤改电”政策的出台，北方供暖用电猛增；新能源发电补贴政策实施后，电力供应结构发生变化。这些方针的提出与调整对电力企业营销策略与业务布局影响深远。为此，电力企业需时刻关注政策动态、跟随政策风向、适时调整营销策略与业务布局。通过对政策精神的深刻阐释，把握政策机遇、主动迎接政策挑战来实现企业可持续发展。

## 二、电力市场营销的必要性

#### （一）顺应能源转型大势

伴随着全球向世界经济迈进的脚步，可再生能源已逐步入网，电力结构正向清洁化和分布式化发展。电力企业若不主动对绿色电力、智能用电方案进行营销推广，就很难与政策导向相衔接，也很难吸引具有环保意识用户参与。这样就会使企业落后于能源转型这条跑道，丧失市场份额与竞争优势。因此，电力企业需跟上能源转型脚步，加大绿色电力研发与推广力度，提高智能用电方案普及度。电力企业积极参与能源转型才能抢得市场先机 and 可持续发展的机遇。

#### （二）满足客户多元需求

不同种类的用户，其用电要求也是不一样。大型工业企业都想享受优惠电价，降低生产成本。为了确保运营的安全性，商业综合体致力于提供稳定的电力供应。对于居民用户来说，他们更加重视提供便捷的缴费方式和节能方面的指导服务。电力企业若忽略了市场营销，就不可能准确地捕捉到这些需求的差异性，而造成用户体验差、客源流失等问题。所以，电力企业有必要对客户进行需求进行深入调查，并提供个性化服务以及营销策略<sup>[1]</sup>。电力企业通过增强与顾客之间的交流与互动，能够较好的满足顾客多元化的需求，促进顾客满意度及忠诚度的提高。

#### （三）提升企业经济效益

随着售电侧开放，民营售电公司纷纷进入，电力市场的竞争越来越激烈。电网企业若不在市场营销上深耕，就很难扩大新的用户和稳定旧的用户，从而造成售电收入的减少。与此同时，增值服务营销效果不佳还会使得新的盈利点很难被发掘，从而影响到企业经济效益。电力企业有必要加大市场营销的力度，促进营销效率与效果的提高。通过优化营销策略，拓宽营销渠道，提高服务质量，电力企业能够吸引更多的用户，增加市场份额，提高盈利能力。这样才能帮助企业获得最大的经济效益，从而为其可持续发展打下坚实的基础。

#### （四）增强行业竞争力

在电力市场竞争不断加剧的大环境下，供电服务质量，电价

套餐及品牌口碑都成了各企业竞争的重点。优秀的市场营销有助于企业树立优质品牌形象、提高品牌知名度与美誉度。这样才能帮助企业吸引更多投资，培养高端人才，巩固供应链合作，才能在产业内立足。电力企业需重视市场营销投入与效果评估工作，并对营销策略与手段进行持续优化。企业通过市场营销能力的提高，能够加强其在行业中的竞争力，从而在今后的发展中争取更多的机会与优势。

#### （五）优化资源配置

市场营销既能促进企业经济效益与竞争力的提高，又能对企业用电数据进行有价值的反馈。这些信息帮助企业洞察各地区，各行业用电需求的差异性，进而对电网建设进行合理规划，配置发电资源。企业通过资源优化配置，能够避免产能闲置或者超载等现象的发生，提升电力资产高效运转率。这样有利于企业降低成本，提高效益，对企业可持续发展起到强有力的支撑作用。所以电力企业在市场营销中需要注意数据反馈作用的发挥，增强数据分析与挖掘的能力，从而为资源的优化配置提供科学依据。

#### （六）促进技术创新应用

企业要增强市场营销新颖性与吸引力就必须不断引进新技术与创新手段。这些新技术在提高营销效率与精准度的同时，也能融合到电网运维，调度管理的各个领域，从而形成良性循环的局面。企业通过技术创新应用能够不断增强科技成色，增强核心竞争力。为此，电力企业需增加技术研发的投入，并积极引进与培养创新人才。与此同时，企业也需加强同科研机构，高校及其他合作方之间的合作交流，以共同促进技术创新及应用发展。有利于企业在市场营销，技术创新等方面做到互相促进，协同发展。

## 三、电力市场营销现存问题

#### （一）营销理念滞后

当前，一些电力企业营销理念仍停留在比较传统的层面上，官本位思想比较严重，习惯了被动地坐等用户上门服务，但却没有主动调查研究、扩大市场的热情。这些企业过多地关注供电生产环节而忽略营销服务的意义，对新型营销技术及观念吸收较慢，造成严重脱离市场发展。这样既制约着企业在市场上竞争力的提高，又很难满足用户不断增长的多元化需求。

#### （二）服务质量待提升

从电力服务的角度来看，报装流程烦琐，用户用电申请需要多个部门跑路，等待时间长的现象仍然存在。另外，停电抢修反应慢、故障修复时间长，对用户造成很大不便，还会造成用户满意度降低。这些问题既影响企业形象，又制约电力市场良性发展。

#### （三）营销渠道单一

目前，一些电力企业过多地依赖于线下营业厅开展销售，线上平台功能较为缺乏且界面不友好，造成用户移动缴费和业务办理时常遭遇卡顿。与此同时，这类公司对新兴社交媒体和电商平台的销售也是一片空白，不能接近年轻且有网购习惯的用户，因此丧失了巨大潜在市场<sup>[2]</sup>。

#### （四）电价体系僵化

从电价体系上看，一些电力企业电价分类比较粗，没有准确地考虑到各行业，各时段成本差异<sup>[3]</sup>。另外，峰谷电价差价小，很难有效地引导工业用户错峰使用，削峰填谷收效甚微，造成价格杠杆作用无效。这样既影响电力资源合理配置又限制企业盈利。

#### （五）品牌建设薄弱

在品牌建设上，一些电力企业宣传过多地注重安全生产等问题，致使品牌形象显得冷冰冰，专业有余却缺乏亲民。这些商家缺少吸引人的品牌故事与特色服务，很难让用户产生共鸣与认同。在能源品牌竞争加剧的大环境下，这类公司声量似乎较弱，很难在市场上崭露头角。

#### （六）市场细分不足

就电力市场营销而言，一些企业没有充分细分市场。它们常常把大型工业、商业和居民用电等作为粗略分类的依据，却忽略了在相同类别下不同细分群体的需求差异。对新兴产业和特殊用电场景这类新兴市场这些公司没有能够分别研究，致使营销方案针对性不强，资源浪费严重。这样既制约企业市场拓展能力又很难满足用户个性化需求。

### 四、电力市场营销策略

#### （一）重塑营销知识体系

在快速变化的电力工业浪潮中，知识系统是推动市场营销向前发展的根本密码。传统的电力市场营销认识受到原有商业模式的限制，对新能源接入后复杂交易规律的认识不足，也缺少对分布式能源供应与需求多元化的解释<sup>[4]</sup>。重新构建营销知识系统，就是把最新的电力技术理论和能源政策、能源政策和法律规定结合起来，使营销人员成为“电力+营销”的专家。组织跨部门研讨工作坊，对电网运维、法律和市场人员进行脑力激荡，将实践和理论相结合；鼓励参加能源经济学、智能电网等多种证书的学习，建立一支知识复合型的队伍，为以后的服务，渠道拓展等战略打下坚实的基础，区别于其它注重实务的板块。

#### （二）提升服务品质

为提高用户的满意度，电力企业需简化报装流程、一站式线上受理、限时结案。同时组建抢修快速响应团队、调配充足的抢修物资、采用智能监测技术对故障进行提前预警、减少停电。这些举措将极大地改善用户体验，以优质的服务赢取用户声誉，进而增强企业市场竞争力。

#### （三）拓展营销渠道

电力企业要想扩大市场份额就必须积极开拓营销渠道。相关人员通过完善官网及APP功能，内置智能客服，电费分析等模块，为用户提供便捷的随时查询及业务处理服务。将节能妙招、用电优惠等信息开通社交平台官方账号进行分享，以吸引粉丝的眼球，引流到官方渠道。与此同时，联合电商平台，利用平台流量进行用电套餐、节能设备的宣传，扩大销售渠道、提高品牌知名度。

#### （四）优化电价体系

电力企业要想对电力资源进行更加合理的分配，就必须对电价体系进行优化。针对行业特点及成本差异对行业电价进行细分以达到精准核算定价的目的。同时扩大峰谷和尖峰平谷的电价差，激励用户低谷时用电以缓解高峰时负荷压力。另外，还出台了定制电价套餐以适应高耗能企业用电特殊需求，增强电价体系灵活性与适应性。

#### （五）强化品牌建设

电力企业要想增强品牌的影响力与亲和力就必须加强品牌建设。树立温馨靠谱品牌形象，讲好用电力守民生，助发展，彰显企业社会责任感使命感。开展公益用电、冠名科普栏目、提高品牌知名度、美誉度等，这些措施有利于提高用户品牌认同感与忠诚度，提高企业市场竞争力。

#### （六）精准市场细分

电力企业要做到精准营销就必须细分市场。按用电规模，时段及稳定性对用户进行分类<sup>[5]</sup>。根据不同人群需求特征定制对应营销策略及供电方案。比如针对数据中心的高可靠供电方案以及针对夜市摊档的夜间优惠套餐。这一靶向营销策略会极大的提高营销效率与转化率，有利于商家更好的满足用户的需求。

#### （七）深挖大数据应用

为促进营销决策精准性与科学性，电力企业有必要对大数据应用进行深度发掘。搭建数据分析平台对用户用电习惯，潜在需求进行采集与分析，并对其进行画像。在用户画像的基础上，实现节能方案和电价套餐的个性化服务的精准推送。同时应用大数据技术对用电高峰及低谷时段进行预测，实现资源的提前配置，保障电网的安全平稳运行。该数据驱动营销策略有利于提高企业营销效率及用户满意度。

### 五、结语

新电力时代，电力市场营销有着非同寻常的重要性。在能源市场不断变化，竞争日益激烈的今天，电力企业有必要直面存在的问题，积极实践创新营销策略。从更新营销理念、改善服务品质、拓宽营销渠道、完善电价体系、加强品牌建设等电力企业才有可能在能源浪潮的冲击下把准方向，在市场竞争的大潮中破浪前进。这样既有利于企业经济与社会效益共赢，也会对能源体系平稳高效运行不断赋能。

### 参考文献

- [1]宋乐. 电力市场开拓及电力企业营销管理策略分析[J]. 现代企业文化, 2023,(23):81-84.
- [2]孔霖婷. 电力市场化背景下LH电厂营销策略优化研究[D]. 重庆工商大学, 2022. DOI:10.27713/d.cnki.gccqgs.2022.000435.
- [3]徐鹏程. 电改新形势下区域售电营销策略的分析与研究[J]. 产业创新研究, 2023,(09):70-72.
- [4]陈康路, 吕浩军. 发电企业在新型电力市场营销体制下的思考[J]. 能源研究与管理, 2022,14(04):183-187.DOI:10.16056/j.2096-7705.2022.04.031.
- [5]周浩. 电力市场开拓及电力企业营销管理策略[J]. 现代企业, 2023,(04):15-17.

# 新能源接入对电气工程系统的影响

党继平, 唐俊

中广核(内蒙古)新能源投资有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 随着新能源的大规模接入, 电气工程系统正经历深刻的变革与挑战。本研究总结了新能源接入对电力系统稳定性、调控复杂度等方面的影响, 同时提出了通过智能化控制、储能技术和优化传输网络等手段应对相关问题。在展望中, 进一步探讨了新能源与储能技术的协同发展、智能化电力系统优化以及国际化能源互联框架的构建等未来方向, 以推动电力系统向高效、灵活与可持续发展。

**关键词:** 新能源接入; 电气工程; 储能技术; 智能化控制; 国际能源互联

## The impact of New Energy Access on the Electrical Engineering System

Dang Jiping, Tang Jun

CGN (Inner Mongolia) New Energy Investment Co., LTD. Ordos, Inner Mongolia 017000

**Abstract:** With the large-scale integration of new energy, electrical engineering systems are undergoing significant transformation and facing unprecedented challenges. This study summarizes the impact of new energy integration on grid stability and control complexity while proposing solutions, such as intelligent control, energy storage technologies, and transmission network optimization. The outlook further explores future directions, including the coordinated development of new energy and energy storage, optimization of intelligent power systems, and the establishment of international energy interconnection frameworks to drive the system toward efficiency, flexibility, and sustainability.

**Keywords:** new energy integration; electrical engineering; energy storage technology; intelligent control; international energy interconnection

## 引言

随着全球能源危机、环境污染和气候变化问题日益严峻, 能源结构向低碳化、清洁化、高效化方向转型已成为全球共识。实现碳中和目标的核心之一是大力发展和利用风能、太阳能等可再生能源。在此背景下, 新能源在全球范围内实现了快速发展, 并逐步取代传统化石能源, 成为电力系统的重要组成部分。然而, 新型能源因其随机性、波动性和间歇性等特性, 给传统电气工程系统的运行、管理与规划带来了全新的挑战。新技术、新架构的探索, 成为现代电气工程学科的重要研究方向<sup>[1]</sup>。

## 一、新能源特性及其接入方式

### (一) 新能源的类别与特性

随着全球能源结构转型的加快, 新能源在电力系统中的作用日益凸显。新能源主要包括太阳能、风能、水能、生物质能、地热能以及海洋能等。其中, 太阳能和风能是应用最为广泛的两种形式:

●太阳能: 利用光伏电池或太阳能热发电技术将太阳辐射直接转换为电能。其特点是资源分布广泛、清洁无污染, 但具有间歇性和随机性, 受昼夜及天气条件的影响较大。

●风能: 通过风力涡轮机将风的动能转化为机械能, 进而转化为电能。风能可以大规模开发(如海上风电), 但其不稳定性依然显著, 风速和风向的变化会直接影响发电能力。

●其他能源: 生物质能依赖生物质材料的燃烧或转化, 具备

一定的稳定性; 地热能和海洋能具有较为固定的资源潜力, 但受地域限制, 开发和利用技术尚未完全成熟。

新能源的共同特性是清洁性和可再生性, 能够在减少温室气体排放的同时实现可持续能源发展。然而, 这些资源波动性强、不可控、预测性差的特点对现有的电力系统提出了巨大挑战。

### (二) 新能源接入电力系统的方式

为了将新能源与传统的电力系统有效结合, 实现清洁能源的优化利用, 常见的接入方式包括:

●分布式接入: 指新能源发电系统直接接入中、低压配电网, 例如屋顶光伏系统和小型风力发电机。这种方式在居民区、工商业园区应用广泛, 优点是发电和用电集中于本地, 但会增加配电网的规划和设计复杂性。

●集中式接入: 以大规模新能源电站为代表, 例如特定区域的大型光伏电站或风力发电场, 通过高压或超高压输电线路接入



主电网。这种方式能够有效利用新能源资源，但由于远距离输电的存在，对输电线路和系统稳定性提出了更高要求。

●微电网模式：将新能源与储能装置结合，构建独立或并网的“微型电力系统”。微电网可以实现本地自给，还能够通过灵活的管理提升电能质量。

●多能源互补接入：将新能源资源与传统能源结合，如“风光储”一体化系统，将风能发电、光伏发电和储能技术协调运作，从而减小新能源电力的波动性。

这些接入方式的选择需根据区域能源条件、用电需求和现有技术水平灵活调整，以实现经济性与可靠性的平衡。

### （三）接入过程中面临的问题

新能源接入电力系统的过程中，尽管为能源转型带来了新的机遇，但也暴露了诸多现实挑战：

●电网安全性问题：新能源发电的间歇性和波动性易导致电网频率和电压波动，严重时甚至可能引发系统不稳定。

●传输和消纳问题：集中式新能源电站往往远离负荷中心，跨区输电压力大，容易造成新能源发电能力被浪费的现象。

●储能技术发展瓶颈：储能设备是解决新能源波动性的重要手段，但目前储能技术成本高、效率低，难以大规模推广。

●管理和规划复杂性：新能源的分布式接入增加了电力系统的灵活性，但也对电网的智能化控制和协调能力提出了更高要求。此外，传统的调度体系难以适应新能源点多源不确定性的特点。

●政策与市场机制不完善：新能源的推广和接入需要合理的电价机制与补贴政策支持，但部分国家或地区的政策尚未完全适应新能源发展的实际需求。

新能源的接入方式和过程中面临的问题密切相关，如何突破这些瓶颈对电力系统的转型发展至关重要。

## 二、新能源接入对电气工程系统的影响

### （一）对电力供需平衡的影响

随着风能、太阳能等新能源的接入，能源供给呈现出固有的随机性和不确定性，这对电力系统的实时供需平衡提出了严峻挑战。传统化石能源发电的出力相对稳定，容易满足实时负荷调节需求，而新能源的波动性使得电力供需匹配变得更加复杂。例如，光伏发电受到日照条件的显著影响，而风电发电则依赖于风速的变化，其不确定性可能导致系统短时间内出现供能不足或过剩现象。由于这些非计划性变化，系统需要更为精确的负荷预测和调度优化，以确保电力供需动态平衡。这种变化不仅增加了电网运行的复杂性，还对电气工程系统提出了更高的技术和管理要求。

### （二）对电网运行与控制的影响

新能源的高比例接入对电网的稳定性造成了一定冲击。首先，频率调节成为突出问题，当新能源出力快速变化或波动时，系统频率可能难以维持在正常范围内，这对电力系统的瞬时平衡和安全运行构成威胁。此外，电压稳定性也需要特别关注，分布

式新能源接入点较为分散，可能引发局部电压波动，从而影响用户供电质量。为了应对新能源并网引发的问题，电网保护系统也面临重新设计的需求，传统电网保护方案对新能源波动的适应性较弱，难以有效应对复杂的故障工况。在区域和分布式电网中，由于新能源出力的不一致性，不同区域间的负荷变化速度加快，进一步增加了局部电网运行的难度<sup>[9]</sup>。

### （三）对输配电网络的影响

新能源并网对输配电网络带来了容量扩张和结构重构的压力。高比例新能源直接接入输电系统或分布式接入配电网，需要对整个输配电系统进行容量升级，以支撑大规模的新能源功率传输和分配。同时，为提升输配电系统的适应性，开发柔性输配电技术变得至关重要。例如，柔性直流输电技术可在远距离新能源传输中显著降低损耗，智能电网的应用也能优化新能源接入后的电力分配效率。此外，新型输配电网络需要结合实时监测、动态调控等功能，才能实现新能源消纳与电网运行的高效融合。

### （四）对储能与调峰系统的要求

新能源波动性的缓冲离不开储能与调峰系统的支撑。在储能技术方面，电池储能成为短期内新能源波动管理的重要手段，其快速响应能力能够有效平衡短时间内的供需差异。此外，氢能作为中长期储能解决方案，具有储量大、调节灵活等优势，在未来或将扮演重要角色。与此同时，调峰系统的优化也成为应对新能源并网挑战的关键。其中，抽水蓄能因其高效率和技术成熟性，广泛应用于新能源波动调节，而需求响应作为一种柔性调控方式，则通过引导用户主动调整用电行为，进一步缓解负荷峰谷差对电力系统的压力。综上所述，储能与调峰系统的建设和优化是推动新能源与电气工程系统深度融合的重要保障。

## 三、应对新能源接入挑战的解决措施

新能源的接入给电力系统带来了诸多挑战，但通过一系列技术手段和政策措施，可以有效缓解这些问题，为构建更加灵活、可靠和高效的电力系统奠定基础。

### （一）新型智能电网的建设

新型智能电网的发展是解决新能源接入难题的关键途径。智能电网通过信息技术与电力技术的深度融合，实现了对发电、输电、配电和用户用电的全流程智能化管理。具体来说，智能电网能够通过实时监测和分析对新能源发电的不稳定性进行调节，保证电网的供需平衡。同时，智能电网引入了分布式能源管理系统，能够对分布式光伏、风能等小型发电单元进行有效优化和调度。此外，利用人工智能和大数据分析，智能电网可预测新能源的发电能力及需求变化，为电网运行提供决策支持，从而提高接纳新能源的能力和效率<sup>[3]</sup>。

### （二）储能与电力市场改革

储能技术的应用是应对新能源波动性和间歇性的重要手段。例如，锂离子电池、液流电池及压缩空气储能等技术可以在新能源过剩时储存能量，在发电短缺时释放能量，从而平滑新能源发电的波动。与此同时，配套的电力市场改革也必须跟上步伐，发

展更加灵活的市场机制，使储能设备的经济价值得以充分体现。例如，引入调频、调峰辅助服务市场，给予储能系统更多的参与机会，也能促进新能源发电与传统电力系统之间的动态平衡。实践表明，储能与市场化改革的结合可以有效提高电力系统的韧性，为新能源的深度接入提供稳定保障。

### （三）电网柔性化改造

电网柔性化改造是增强新能源接入能力的核心措施之一。通过引入高压直流输电（HVDC）和柔性交流输电系统（FACTS），电网可以更高效地调配电能并应对电力流的动态变化。例如，柔性直流电网技术在实现长距离电力输送的同时更具快速调节特性，可极大缓解因新能源集中接入引发的区域性电压不稳定问题。此外，微电网技术的发展也为电网柔性化提供了支持。作为一种独立运行或并网运行的小型电力系统，微电网可以在新能源丰富的分布区域内实现就地消纳，降低对主网的冲击。通过开展电网柔性化改造，整个电网可以从源头上减轻新能源接入过程中的波动性和不确定性影响。

### （四）政策与标准推进

政策引导和标准化建设对于新能源接入的扩展和应用尤为重要。政府需要出台促进新能源消纳的扶持政策，例如可再生能源补贴、碳交易制度和电价改革，以激励发电企业和用户积极参与新能源建设。标准化方面，制定统一的并网技术规范 and 运行准则，可以确保不同地域、不同类型新能源的协调并网，减少系统运行中的技术障碍。此外，政府还可以推动国际合作，借鉴国外新能源接入的成功经验，并结合本国实际情况制定适宜的政策和标准体系，从而为新能源接入提供有力的政策保障。

综上所述，应对新能源接入挑战需要多方面、多层次的综合措施。通过新型智能电网的建设、储能技术与市场机制的结合、电网灵活性的提升以及政策和标准的制定，才能从根本上解决新

能源接入过程中面临的各种难题，为电力行业的绿色转型注入强大动力<sup>[4]</sup>。

## 四、结论与展望

### （一）主要结论

随着新能源的大规模接入，电气工程系统正在经历一场深刻的变革，同时也面临着前所未有的挑战。从电网运行的稳定性到电力系统调控的复杂性，这些问题接连出现，给传统的电力系统带来巨大压力。然而，通过智能化控制手段的推进、储能技术的不断发展以及输电网络布局的优化调整，这些挑战正在逐步得到有效的解决。新能源的接入不仅加速了电气工程系统向更加灵活化、高效化和可持续化的方向发展，还实现了技术创新与环境保护之间的深度融合，展现了现代社会对绿色能源发展的基本需求和方向。

### （二）未来研究方向

随着新能源的不断发展，技术领域的创新面临着更为严峻的考验，需要进行更加深入的研究和探索。在未来，新能源技术和储能技术的协同发展将成为关键。通过更加紧密的研究，实现储能技术与系统动态平衡间的无缝衔接，对于提升电力系统的整体效率具有重要意义。此外，智能化电力系统的运维管理与控制技术仍有很大提升空间，尤其是在人工智能算法和数字孪生技术的深度融合方面，未来的研究需要找到更多创新突破点。与此同时，新能源发展已成为全球范围内共同关注的趋势，构建国际合作框架将变得尤为重要。通过推动跨国能源的互联互通以及资源的优化配置，不仅能够提高全球能源利用效率，还能为解决不同国家和地区能源分配不均的问题提供有效的解决方案，从而进一步引领全球电力系统走向更加开放、互联和协调共享的未来。

## 参考文献

- [1] 巩冬梅, 马源, 张伟玮. 智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用研究 [J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(11): 111-114.
- [2] 高树祥; 于隆; 孙小梅. 电气工程及自动化智能化技术在建筑电气中的应用 [J]. 中国设备工程, 2022(15).
- [3] 康慧龙. 试论电气工程及其自动化的智能化技术应用 [J]. 建材与装饰, 2019(29).
- [4] 宫占霞; 龙小丽; 焦根平. 智能化技术在电气工程控制中的应用 [J]. 电子世界, 2018(21).

# 光伏与风电并网系统的运行稳定性评估

王轩, 黄骏\*

国电投长江生态能源有限公司, 湖北 武汉 430000

**摘 要 :** 随着新能源技术的快速发展, 光伏与风电并网系统已成为电力系统中不可或缺的一部分。然而, 其并网运行稳定性问题也日益凸显, 对电网的安全稳定运行构成了挑战。本文旨在全面评估光伏与风电并网系统的运行稳定性, 探讨影响稳定性的关键因素, 并提出相应的改进措施。通过对并网系统的结构、运行特性及故障机理进行深入分析, 结合先进的评估方法和技术手段, 本文为新能源项目的安全生产管理提供了理论依据和实践指导, 有助于推动新能源产业的健康可持续发展。

**关 键 词 :** 光伏; 风电; 并网系统; 运行稳定性

## Evaluation of the Operation Stability of the Photovoltaic and Wind Power Grid-Connected System

Wang Xuan, Huang Jun\*

China Power Investment Yangtze River Ecological Energy Co., LTD. Wuhan, Hubei 430000

**Abstract :** With the rapid development of new energy technology, photovoltaic and wind power grid-connected system has become an indispensable part of the power system. However, the stability problem of its grid-connected operation is also increasingly prominent, which poses a challenge to the safe and stable operation of the power grid. This paper aims to comprehensively evaluate the operation stability of photovoltaic and wind power grid-connected system, explore the key factors affecting the stability, and put forward corresponding improvement measures. Through the in-depth analysis of the structure, operation characteristics and fault mechanism of the grid-connected system, combined with advanced evaluation methods and technical means, this paper provides theoretical basis and practical guidance for the safety production management of new energy projects, and helps to promote the healthy and sustainable development of the new energy industry.

**Keywords :** photovoltaic; wind power; grid-connected system; operation stability

新能源, 特别是光伏和风电, 因其清洁、可再生的特点, 在全球范围内得到了广泛应用。然而, 光伏与风电并网系统的运行稳定性问题一直是行业关注的重点。由于光伏和风电的输出功率受自然条件影响大, 具有间歇性和不确定性, 这给电网的安全稳定运行带来了挑战。因此, 对光伏与风电并网系统的运行稳定性进行评估, 提出有效的改进措施, 对于保障电网的安全稳定运行具有重要意义。

### 一、光伏与风电并网系统的基本特性

#### (一) 间歇性和不确定性

光伏与风电作为可再生能源, 其输出功率深受天气条件影响, 展现出明显的间歇性和不确定性特征。这种特性使得并网系统的输出功率呈现大幅度波动, 对电网的调度和运行构成了严峻挑战。由于光照强度和风速的不可预测性, 光伏电站和风力发电场在特定时间段内可能产生大量电能, 而在其他时间段则可能产出极少。这种不稳定的电能输出要求电网具备高度的灵活性和适应性, 以确保电力供应的稳定性和可靠性。

#### (二) 低电压穿越能力

在电网遭遇故障引发电压下降的情况下, 光伏和风电并网系统需展现出低电压穿越能力。这意味着系统能够在一定范围内的

低电压条件下, 继续保持并网运行状态, 从而为电网提供必要的支撑。低电压穿越能力是衡量新能源并网系统对电网故障响应能力的关键指标, 对于维护电网的整体稳定性和可靠性至关重要。具备这一能力的系统能够在电压恢复后迅速恢复正常运行, 减少电网故障对电力供应的影响。

#### (三) 高电压穿越能力

在电网电压升高的情况下, 光伏和风电并网系统同样需要展现出高电压穿越能力。这种能力确保了并网系统在面临高电压条件时, 能够保持设备的稳定运行, 避免设备受损或故障。高电压穿越能力是评估新能源并网系统适应电网电压波动能力的重要指标, 对于维护电网安全和设备完整性至关重要。具备高电压穿越能力的系统能够在电压异常情况下持续运行, 为电网提供稳定的电力输出。

作者简介: 王轩 (1989-), 男, 汉族, 江苏省盐城市人, 本科, 研究方向: 光伏, 风电运行管理;

通讯作者: 黄骏 (1985-), 男, 汉族, 江西省南昌市人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 光伏, 风电运行管理。邮箱: 344607785@qq.com



#### （四）动态无功补偿能力

光伏和风电并网系统需具备动态无功补偿能力，这对于维持电网的电压稳定和功率因数至关重要。动态无功补偿能力使系统能够根据实际情况，快速调节无功功率的输出，从而有效应对电网电压的波动和功率因数的变化。这一能力有助于提升电网的整体稳定性和可靠性，确保电力传输的高效性和安全性。通过动态无功补偿，并网系统能够更好地适应电网运行需求，为电力用户提供高质量的电力服务。

## 二、影响光伏与风电并网系统运行稳定性的关键因素

#### （一）电网结构

电网的结构对并网系统的稳定性具有显著影响。一个复杂的电网结构可能加剧并网系统与其他电源之间的相互作用，从而增加系统的不稳定性。合理的电网结构设计能够减少这种相互作用，提高系统的抗干扰能力。因此，在规划和设计电网时，需要充分考虑电网结构对并网系统稳定性的影响，以确保电网的安全、稳定运行。

#### （二）控制策略

并网系统的控制策略对其运行稳定性具有直接影响。合理的控制策略可以有效降低输出功率的波动，增强系统的抗干扰能力。通过精确调控并网系统的输出功率和响应时间，可以确保电网的稳定运行。因此，制定和优化并网系统的控制策略，是提升系统稳定性、保障电力供应安全的关键措施。

#### （三）设备性能

光伏和风电设备的性能对并网系统的稳定性具有重要影响。设备的故障率、响应速度等关键指标直接关系到系统的稳定运行。高性能的设备能够降低故障率，提高响应速度，从而增强并网系统的稳定性和可靠性<sup>[1]</sup>。因此，在选用和维护设备时，需注重其性能表现，以确保并网系统的高效、稳定运行。

#### （四）天气条件

天气条件是决定光伏和风电输出功率的关键因素，同时也对并网系统的运行稳定性产生重大影响。极端天气条件，如强风暴、暴雨或极端高温等，可能导致系统输出功率的大幅波动，严重时甚至可能引发系统故障。因此，在设计和运行并网系统时，需充分考虑天气条件的影响，采取相应措施以提高系统的适应性和稳定性。

## 三、光伏与风电并网系统运行稳定性评估方法

#### （一）阻抗稳定性判据

阻抗稳定性判据是一种重要的评估并网系统稳定性的方法。该方法的核心在于通过分析并网系统的阻抗特性，来判断系统是否处于稳定状态。在系统参数及内部结构不完全已知的情况下，阻抗稳定性判据尤为有效。通过测量并网系统中各个子系统的阻抗值，可以分析它们之间的相互作用关系，进而判断整个级联系统的稳定性。阻抗稳定性判据具有操作简便、结果直观等优点。

在实际应用中，该方法能够准确地评估并网系统的稳定性，为系统的设计和运行提供重要参考。同时，阻抗稳定性判据还可以与其他评估方法相结合，以更全面地评估并网系统的稳定性<sup>[2]</sup>。通过不断优化和完善阻抗稳定性判据，可以进一步提高并网系统的稳定性和可靠性，为新能源并网系统的安全、稳定运行提供有力支持。

#### （二）电网等效模型法

电网等效模型法是一种有效的评估并网系统对电网稳定性影响的方法。该方法的核心思想是将光伏或风电系统等效为一个源，即将其复杂的电气特性简化为一个具有特定电气参数的等效源。通过计算这个等效源对电网的影响系数，可以量化评估其对电网稳定性的影响程度。这种方法具有直观性强的特点，能够清晰地反映出并网系统对电网的干扰程度，为电网调度和运行人员提供有力的决策依据。在实际应用中，电网等效模型法需要准确获取光伏或风电系统的电气参数，并考虑电网的结构和运行方式。通过合理的等效模型构建和计算分析，可以得出准确的影响系数，为电网的稳定运行提供可靠保障<sup>[3]</sup>。同时，该方法还可以与其他评估方法相结合，以更全面地评估并网系统对电网的影响。

#### （三）实测法

实测法是一种直接评估并网系统稳定性的方法，其核心在于通过对并网系统的实时监测，获取系统的运行状态和关键参数。这种方法能够实时反映系统的实际运行情况，为评估系统的稳定性提供直接的数据支持。通过实时监测并网系统的电压、电流、功率等参数，可以分析系统的波动情况和响应特性，进而判断系统的稳定性状态。然而，实测法也受到监测设备和技术的限制，可能存在一定的误差。为了提高实测法的准确性，需要采用高精度、高可靠性的监测设备，并不断优化监测技术和方法<sup>[4]</sup>。同时，实测法还需要与其他评估方法相结合，以全面、准确地评估并网系统的稳定性。

#### （四）仿真分析法

仿真分析法是一种强大的工具，用于评估并网系统的稳定性。该方法通过利用先进的仿真软件，对并网系统进行精确的建模和仿真分析。在仿真过程中，可以模拟系统的各种运行状态，包括正常运行、故障情况等，从而全面评估系统的稳定性表现。仿真分析法不仅能够揭示系统在特定条件下的行为特征，还能够为改进控制措施提供有力的理论依据。通过对仿真结果的分析，可以识别出系统中的潜在问题，并据此优化控制策略，提高系统的稳定性和可靠性<sup>[5]</sup>。此外，仿真分析法还具有灵活性和可扩展性，能够适应不同规模和复杂度的并网系统评估需求。因此，仿真分析法在新能源并网系统的稳定性评估中发挥着重要作用。

## 四、提高光伏与风电并网系统运行稳定性的措施

#### （一）优化电网结构

优化电网结构是提升并网系统稳定性的重要手段。通过合理设计电网布局，可以有效降低并网系统与其他电源之间的相互作



用,从而增强系统的整体稳定性。具体而言,可以采取多种措施来优化电网结构,如增加电网的冗余度,提高电网的可靠性和抗干扰能力。冗余度的提升意味着电网在面临故障或异常情况时,有更多的备用路径和资源可供使用,从而确保电力供应的连续性和稳定性<sup>[6]</sup>。此外,优化电网结构还可以减少电力传输过程中的损耗,提高能源利用效率。

### （二）改进控制策略

改进控制策略是提升并网系统稳定性的关键途径。通过采用先进的控制方法,如功率预测控制和自适应控制,可以显著降低并网系统输出功率的波动,增强系统的抗干扰能力。功率预测控制利用历史数据和气象信息,对光伏和风电系统的输出功率进行精确预测,并据此调整控制策略,以实现平稳的电力输出<sup>[7]</sup>。自适应控制则根据系统实时运行状态,动态调整控制参数,以应对各种不确定性和干扰。这些先进的控制策略能够显著提高并网系统的响应速度和稳定性,为电力系统的安全、可靠运行提供有力保障。

### （三）提升设备性能

提升光伏和风电设备的性能与质量是确保并网系统稳定运行的关键。通过加强设备的研发和生产,采用先进的技术和材料,可以显著提高设备的效率和可靠性,降低故障率。同时,优化设备的设计和结构,能够提升设备的响应速度,使其在面对电网波动或故障时能够迅速调整,保持稳定的电力输出。此外,加强设备的维护和保养,定期进行性能检测和故障排查,也是确保设备长期稳定运行的重要措施<sup>[8]</sup>。通过这些努力,可以进一步提升光伏和风电设备的性能,为并网系统的安全、可靠运行提供坚实基础。

### （四）加强天气预测和监测

加强天气预测和监测对于确保并网系统的稳定运行至关重要。

通过利用先进的天气预测和监测技术,我们可以提前掌握天气变化的详细情况,包括风速、风向、光照强度、温度等关键气象信息。这些信息为并网系统的运行调度提供了重要的科学依据,使调度人员能够提前制定应对措施,优化系统运行策略。例如,在预测到风速降低或光照减弱时,可以提前调整光伏和风电系统的输出功率,以保持电网的稳定供电<sup>[9]</sup>。通过加强天气预测和监测,能够更好地应对天气变化对并网系统的影响,确保电力系统的安全、可靠运行。

### （五）建立应急预案

建立应急预案是确保电网安全稳定运行的重要环节。针对可能发生的各种故障情况,如设备故障、天气突变等,我们需要提前制定详细的应急预案。这些预案应明确故障发生时的应对措施、责任分工和处置流程,确保在故障发生时能够迅速、有序地采取行动<sup>[10]</sup>。通过定期演练和培训,提高相关人员对预案的熟悉度和应急处理能力,确保在关键时刻能够迅速响应,有效控制故障范围,减少损失。同时,应急预案的制定还需考虑与上级电网和其他相关部门的协同配合,确保在故障处理过程中能够形成合力,共同保障电网的安全稳定运行。

## 五、结论

光伏与风电并网系统的运行稳定性评估是提高新能源项目安全生产管理水平的重要一环。通过对并网系统的基本特性、影响因素、评估方法及改进措施进行深入分析,本文为新能源项目的安全生产管理提供了理论依据和实践指导。未来,随着新能源技术的不断发展和电网结构的不断优化,光伏与风电并网系统的运行稳定性将得到进一步提升,为新能源产业的健康可持续发展提供有力保障。

## 参考文献

- [1]刘朝辉. 考虑风电并网系统时变特性的宽频振荡风险评估方法的研究 [D]. 兰州理工大学, 2023.
- [2]许荣彪. 风电并网系统电压无功控制策略研究 [D]. 昆明理工大学, 2023.
- [3]陈厚合, 杨政, 裴玮, 等. 风电并网系统数字孪生及故障态势辨识 [J]. 电工电能新技术, 2022, 41 (11): 43-58.
- [4]刘其辉, 董楚然, 于一鸣. 双馈风电并网系统高频谐振机理及抑制策略 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40 (09): 163-172.
- [5]李波, 覃惠玲, 吴玥, 等. 风光互补发电并网系统优化设计研究 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (24): 70-74.
- [6]万兴玉. 高渗透率风电并网系统的优化运行研究 [D]. 南昌大学, 2018.
- [7]赵会莹, 丁剑, 杨明玉, 等. 千万千瓦级风光并网系统电压无功研究 [J]. 可再生能源, 2018, 36 (03): 411-421.
- [8]李元浩, 马玉鑫, 杜志超. 基于 RT-LAB 的风电并网系统低电压穿越仿真研究 [J]. 电器与能效管理技术, 2017, (06): 71-77.
- [9]蔡国伟, 陈冲, 孔令国, 等. 风电 / 光伏 / 制氢 / 超级电容器并网系统建模与控制 [J]. 电网技术, 2016, 40 (10): 2982-2990.
- [10]徐学根. 我国分布式小型风电并网系统应用的技术可行性与投资经济性分析 [J]. 风能, 2013, (07): 50-53.

# 工业自动化产线的电气设备智能维护系统构建

李乐

山东欧德利电气设备有限公司, 山东 潍坊 261000

**摘 要：** 随着工业自动化的快速发展, 电气设备的智能维护系统变得越来越关键。本深入探讨围绕这一重点, 对工业自动化产线电气设备具有复杂多变, 高负荷运转和高度集成的显著特点进行详细分析, 全面阐述建设智能维护系统对于保证生产连续性和提高生产效率的必要性。正视目前系统中存在的数据采集精准度差, 故障诊断手段落后等难以解决的问题进行探讨, 努力从各方面增强产线运行稳定性和可靠性, 帮助工业企业削减成本, 倍增收益, 在激烈的市场竞争中稳领潮头。

**关 键 词：** 工业自动化; 电气设备; 智能维护系统; 故障诊断

## Construction of Electrical Equipment Intelligent Maintenance System of Industrial Automation Production Line

Li Le

Shandong Oudeli Electrical Equipment Co., LTD. Weifang, Shandong 261000

**Abstract：** With the rapid development of industrial automation, the intelligent maintenance system of electrical equipment is becoming more and more critical. This in-depth discussion around this key point, the industrial automation production line electrical equipment has a complex and changeable, high load operation and high integration of the remarkable characteristics of detailed analysis, comprehensively elaborated the construction of intelligent maintenance system to ensure the continuity of production and improve production efficiency. Face up to the difficult problems existing in the current system, such as poor data collection accuracy and backward fault diagnosis means, and strive to enhance the stability and reliability of production line operation from all aspects, help industrial enterprises reduce costs, double profits, and stabilize the trend in the fierce market competition.

**Keywords：** industrial automation; electrical equipment; intelligent maintenance system; fault diagnosis

### 引言

在当前的工业环境中, 自动化生产线已逐渐成为主导的生产方式, 而电气设备的稳定运作对企业的生产效果有着直接的影响。传统的维护方式很难及时的发现可能出现的故障, 往往会造成停工停产的现象, 带来巨大的损失。智能维护系统在先进技术的支持下, 对设备状态进行实时监控, 并对故障进行提前报警, 从而为工业自动化产线连续高效生产提供了强有力的保障。建设这一体系既符合科技发展的趋势, 也是企业增强竞争力和实现可持续发展所急需的。

### 一、工业自动化产线电气设备的特点

#### (一) 复杂性高

在工业自动化生产线中, 多种电气设备如可编程逻辑控制器(PLC)、传感器、变频器和伺服电机等都被整合在一起, 这些设备之间存在着紧密的合作和联系。以汽车制造自动化生产线为例, 车身焊接环节需要大量高精度的焊接机器人, 机器人的控制系统涉及到复杂的编程和精密的传感反馈, 任何设备和环节的故障均会引起连锁反应并影响到整个产线的运转, 需要维护人员掌握跨领域的知识来精准地找出故障根源<sup>[1]</sup>。

#### (二) 高精度运行需求

自动化产线中的电气设备需要保持极高的精度以保证产品质量的稳定性。电子芯片封装生产线上的贴片机要求微小芯片准确地贴装于电路板上的规定位置上, 定位精度达到微米级。这有赖于高精度运动控制电气系统的设计, 它对于电压稳定性, 信号传输精准度和电机控制精度有着苛刻的要求, 细微的电气参数起伏就会导致芯片贴装偏差而导致产品报废。

#### (三) 连续运行时长

为了适应大规模生产的需要, 自动化产线一般都是长期持续运转的, 电气设备没有间歇的工作。和食品饮料灌装生产线一

作者简介: 李乐(1993.11-), 男, 汉族, 甘肃省武威市民勤县人, 本科, 初级工程师, 研究方向: 工业自动化。

样，在旺季的时候也可能是一天24小时不停地生产。长期运行使得电气元件的老化速度加快，散热系统的负担增加，例如不中断工作的电机其绕组绝缘容易发热老化，当绝缘失效触发短路时，会造成产线急停，检修难度及费用急剧上升。

#### （四）实时数据交互

各个电气设备之间进行海量数据的实时交互，从而达到生产流程的协同控制。在3C产品装配自动化产线中，不同工位的设备需要对产品的装配进度，质量检测结果和其他数据进行即时共享；PLC依据反馈的数据对物料配送和装配工序的节奏进行调节。如果数据交互发生延迟或者差错，将造成物料堆积和装配差错，所以需要电气设备通信网络的高速运行和稳定运行以及数据传输的准确。

#### （五）易受环境干扰

工业现场环境恶劣，电气设备所面临的温湿度变化，粉尘和电磁干扰等多种不利因素影响。例如在钢铁冶炼车间中，温度高，粉尘大的环境容易使电气控制柜内部积灰，从而影响散热和电气元件的接触性能，导致短路和接触不良等故障；强烈的电磁干扰可能会干扰传感器的信号，导致设备误操作，从而威胁到产线的安全稳定运行，因此，设备的防护和抗干扰措施变得尤为重要。

## 二、构建工业自动化产线电气设备智能维护系统的必要性

### （一）提升生产效率

智能维护系统对设备的状态进行实时监测，对故障隐患进行提前报警，可以使停机的时间大大缩短。以纺织印染自动化生产线为例，在传统的维护方式下，当设备突然出现故障时，通常会暂停工作4-6小时进行维修，但在引入智能维护技术后，会对印染机电机进行调整、温控系统及其他关键设备的实时监控、问题的提前检测和处理、一次停机的时间限制在一小时内、有效地提高整体的生产效率和市场对订单交付及时性的要求<sup>[2]</sup>。

### （二）保障产品质量

准确地维护电气设备，是产品质量稳定的基石。精密机械加工自动化生产线中，对刀具进行精确控制主要依靠电气驱动系统和智能维护系统对刀具切削力和电机扭矩进行实时监控，发现异常情况立即进行调整，以免由于刀具磨损和设备振动等原因导致工件的超差。例如，某航空零部件制造企业在引进智能维护技术后，其产品的次品率从3%下降到不超过1%，而关键零部件的加工精度合格率也稳定维持在99%以上，这大大增强了该企业在市场上的竞争力。

### （三）降低维护成本

传统的定期维护往往是过多的修理或者修理不到位，浪费了人力物力。智能维护系统是根据设备的实际情况根据需要进行检修，水泥生产自动化产线上，过去根据经验每个月都要进行一次大型风机的停机检修，消耗了很多的人力，大部分的时候风机都没有出现严重的问题；在引入智能系统之后，我们根据风机的振

动、轴承的温度等实时数据来确定最合适的维修时间，这使得每年的维修次数减少了3-4次，从而节省了近30%的人工和备件费用。

### （四）增强安全生产保障

电气故障会导致火灾，爆炸等重大安全事故的发生，特别是化工，油气等高危行业的自动化产线。该智能维护系统对电气设备的漏电，过热和短路故障隐患进行实时监控和报警，从而为安全运行提供了保证。在某石化炼油自动化装置区，安装了智能维护系统后，成功地提前预警并处理了多个电气隐患，从而将事故发生的概率降低了80%，确保了员工的生命安全和企业的财产安全<sup>[3]</sup>。

### （五）助力企业智能化升级

智能维护系统的建设是企业走向智能制造的关键步骤，其累积的大量设备运行数据支持了生产优化和管理决策等。在家电生产企业中，通过利用智能维护系统的数据，我们分析了不同产品型号的生产线设备在能耗和效率上的差异，并对生产工艺参数进行了优化，从而实现了单位产品能耗下降10%的目标，并且对企业智能排产，设备投资规划等提供准确的依据，加快了企业智能化转型的进程。

## 三、工业自动化产线电气设备智能维护系统的现存问题

### （一）数据采集不精准

一方面工业现场的传感器受到环境的干扰而产生较大的数据偏差。例如在矿井下的自动化采煤设备中，粉尘和潮湿的环境使得瓦斯传感器和压力传感器的测量误差加大，不能真实地反映设备的工作条件；另一方面多源数据整合难度大，不同牌号和型号电气设备的数据格式和界面也不相同，就钢铁冷轧的自动化产线而言，源于德国、日本和其他不同厂家的轧机和卷取机在数据采集之后很难进行统一的处理和分析，从而影响了智能维护系统对设备总体状态判断的精度。

### （二）故障诊断准确率低

现有的故障诊断模型大多是根据历史数据和典型案例建立的，在面临复杂多变的工况时适应性较差。风电设备智能维护过程中风机受到不同风速，温度和地形的影响，其运行情况比较复杂，而传统的基于固定规则故障诊断算法往往会出现误判现象，如果把正常风速突然变化造成功率波动错误地判断为发电机故障而造成不必要停机大修，加大了运维成本和发电损失。

### （三）实时性不足

有的智能维护系统数据传输和处理时延显著，难以达到自动化产线即时维护的要求。高速包装自动化生产线上，产品的包装速度高达上百件/分钟，当电气设备发生故障时，如果维护系统无法在几秒钟内做出反应和定位，会导致大量包装次品的产生，同时现有的网络带宽有限，算法运算效率较低，妨碍实时维护功能的实现<sup>[4]</sup>。

### （四）系统集成难度大

自动化产线涉及机械、电气、软件等多领域技术，智能维护

系统需与企业现有生产管理系统（如 ERP、MES）集成，实现信息共享与协同工作。但是不同的系统架构，通信协议千差万别，例如离散制造企业在导入智能维护系统时应与现有订单管理和库存管理模块进行整合，由于接口的不兼容和数据交互规则的不统一，往往需要花费大量的人力和时间来二次开发，工程的执行周期长<sup>[5]</sup>。

（五）专业人才短缺

智能维护需要维护人员同时具备电气专业知识，信息技术和数据分析等方面的能力，目前复合型人才缺乏。半导体制造企业中的智能维护系统涉及高端光刻机，刻蚀机以及其他复杂电气设备的检修，技术人员对传统的电气维修比较熟悉，但是面临大数据分析的问题、智能算法应用这样的新需求捉襟见肘，企业内部培训体系不够健全，外部招聘也很难找到合适的人，限制了系统的推广和应用<sup>[6]</sup>。

四、工业自动化产线电气设备智能维护系统的构建策略

（一）优化数据采集

利用高精度和抗干扰的传感器与自适应滤波和数据校准算法相结合增强了数据的精度。以高温锻造自动化产线为例，为了对锻压设备的受力情况进行准确监控，选择耐高温抗冲击的压电式传感器并采用动态校准补偿算法进行补偿，对热应力和机械振动等因素引起的测量误差进行实时校正，以保证采集到的压力数据是设备工况的真实写照；同时搭建了统一的数据采集平台并研发了通用的数据接口转换模块以兼容不同厂家的设备来实现多源数据的有效聚合<sup>[7]</sup>。

（二）改进故障诊断模型

引入机器学习，深度学习算法并根据大量的历史数据和实时工况训练自适应故障诊断模型。例如在轨道交通列车电气设备的智能维护方面，采用深度神经网络对列车运行时的电机电流，轴

承温度和车厢供电电压进行了多参数的规律分析，该模型综合线路坡度和行驶速度两种工况信息对不同的故障特征模式进行自动学习，并对故障类型及严重程度进行实时精确的判断，从而有效地减少了误判率和增强了诊断的及时性<sup>[8]</sup>。

（三）强化实时性保障

对工业网络进行了改造，使用 5G、工业以太网和其他高速通信技术来保证数据的低延迟传输；对数据处理算法进行了优化，采用边缘计算的方法对设备端的实时性较高数据进行就近处理。以港口集装箱自动化装卸生产线为研究对象，基于 5G 网络将岸桥和场桥电气设备的运行数据以毫秒级的速度传递给中控，而设备的电控柜中内置有边缘计算网关，将紧急故障信号进行即时分析和处理，引发本地报警及应急停机，确保了作业的连续性，降低了故障损失<sup>[9]</sup>。

（四）推进系统集成优化

遵照行业标准规范制定统一的系统集成架构和接口协议，利用中间件技术将智能维护系统和生产管理系统进行无缝连接。例如，汽车整车制造企业可以基于制造执行系统（MES）的标准接口扩展，开发智能维护系统插件，从而实现设备故障信息的自动推送到 MES 工单管理模块，维修进度的实时反馈实现了生产，维修过程的密切协同，促进了企业运营管理效率的提高<sup>[10]</sup>。

五、结语

工业自动化生产线上的电气设备智能维护系统面临许多挑战，但通过准确理解电气设备的特性，我们可以正视当前存在的问题，采用有针对性的策略，由优化数据采集向加强人才培养和增强安全防护的方向协同发展，定能使系统功能逐步趋于完善。这既是筑牢企业稳定生产和提质增效之本，也是助推工业向智能化、高端化迈进的关键动力，在今后的技术创新和实践积累中，智能维护系统在工业领域会释放出更大的潜力，促进行业的变革升级。

参考文献

[1]侯晓音. 工业自动化中 PLC 实时监测技术与故障诊断方法的研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(11): 121-123.  
[2]文波. 智能制造技术在工业自动化中的应用分析 [J]. 河南科技, 2021, 40(28): 58-60.  
[3]孙锐. 面向工业自动化应用的时间敏感网络调度机制研究 [D]. 重庆邮电大学, 2020.  
[4]张春香, 耿丽艳, 刘芳义. 智能技术在低压配电自动化系统中的应用 [J]. 电子技术, 2023, 52(12): 286-287.  
[5]李琳莉. 新形势下探讨智能视觉物联网在工业自动化中的实际应用 [J]. 电子测试, 2022, (16): 58-60.  
[6]文晓. 华北工控: 嵌入式系统是工业自动化应用的重要支撑 [J]. 自动化博览, 2023, 40(11): 12-13.  
[7]马晓东. PLC 在工业自动化控制领域中的应用及发展 [J]. 模具制造, 2023, 23(11): 166-168.  
[8]李森. 变电站设备的电气调试与优化管理方法 [J]. 智能城市, 2023, 9(12): 58-60.  
[9]叶体俊. 智能配电网电力设备在电力工业工程营销的重要性分析 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, (S1): 88-90.  
[10]韩立军. 电力设备状态的智能诊断研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (10): 377-379.



# 电厂燃料智能化管理系统的架构设计与技术实现

赵运亮<sup>1</sup>, 杨大为<sup>1</sup>, 刘世翔<sup>1</sup>, 房磊<sup>2</sup>, 贾治中<sup>2</sup>

1. 中煤靖远发电有限公司, 甘肃 白银 730900

2. 内蒙古呼和浩特市立信电气技术有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010011

**摘 要：**近年来，随着电力需求的不断增长和能源结构的不断优化，电厂在电力供应中仍占据重要地位，大多数电厂在燃料管理方面仍然面临许多挑战，燃料验收、接卸、煤场管理、配煤等环节普遍存在设备落后、分析手段不足、管理手段有限等问题，这不仅导致燃料生产和管理的自动化和智能化水平有限，还导致工作效率低、人力成本高以及人为因素带来的潜在风险。因此，智能燃料管理系统的研究对于提高电厂燃料管理水平、降低生产成本、提高经济效益具有迫切的现实意义，通过智能管理系统的应用，实现了对燃料全过程的精确监控和高效管理，为电厂的可持续发展提供了有力保障。

**关 键 词：**电厂；燃料智能化管理系统；架构设计；技术实现

## Architecture Design and Technical Implementation of Intelligent Fuel Management System for Power Plants

Zhao Yunliang<sup>1</sup>, Yang Dawei<sup>1</sup>, Liu Shixiang<sup>1</sup>, Fang Lei<sup>2</sup>, Jia Zhizhong<sup>2</sup>

1. China Coal Jingyuan Power Generation Co., Ltd. Baiyin, Gansu 730900

2. Inner Mongolia Hohhot Lixin Electric Technology Co., Ltd. Hohhot, Inner Mongolia 010011

**Abstract：** In recent years, with the continuous growth of electricity demand and the continuous optimization of energy structure, power plants still occupy an important position in power supply. Most power plants still face many challenges in fuel management, such as outdated equipment, insufficient analysis methods, and limited management methods in fuel acceptance, unloading, coal yard management, and coal blending. This not only leads to limited automation and intelligence levels in fuel production and management, but also results in low work efficiency, high labor costs, and potential risks caused by human factors. Therefore, the research on intelligent fuel management systems has urgent practical significance for improving the fuel management level of power plants, reducing production costs, and improving economic benefits. Through the application of intelligent management systems, precise monitoring and efficient management of the entire fuel process have been achieved, providing strong guarantees for the sustainable development of power plants.

**Keywords：** power plant; fuel intelligent management system; architecture design; technical implementation

## 引言

本文针对电厂燃料管理中存在的问题，提出了一种基于现代智能技术的智能燃料管理系统，该系统综合应用信息处理、自动控制、识别、感知等技术，实现了进厂煤的识别、质量验收、转运卸载、煤场管理、配煤展示等全过程、全周期、全方位的智能控制。系统架构设计清晰合理，技术先进可行，可显著提高燃料管理的精细化和自动化水平，该系统还具有较高的可靠性和实用性，可为电厂降本增效提供有力支持，通过本文的研究，可以为智能燃料管理系统在电厂的推广应用提供有益的参考。

## 一、系统架构设计

### （一）智能感知和数据采集层

智能传感与数据采集层是智能燃油管理系统的基石，负责全面准确地捕捉燃油管理各个环节的关键信息，该层通过部署先进的传感器网络和物联网技术，实现了对煤炭进厂、质量验收、转运卸车、煤场储存、配煤展示全过程的实时监控，有各种传感

器，包括但不限于温度传感器、湿度传感器、重量传感器、图像识别相机等。可以精确测量燃料的各种物理和化学参数，如温度、湿度、重量、粒度、热值等，利用车辆识别技术和二维码技术，实现了煤炭从进厂到消耗的全程追溯，保证了燃料信息的准确和完整。<sup>[1]</sup>在数据采集方面，该层采用高效的数据传输协议和加密算法，保证数据的实时性、安全性和可靠性。通过构建分布式数据库，实现了海量数据的存储和管理，为后续的数据分析和决

作者简介：赵运亮（1973.06—），男，汉族，山西芮城人，本科，工程师，研究方向：电站运行调整。

策提供了坚实的基础，该层还具有数据预处理的功能，可以对原始数据进行清洗、整合和格式化，为后续的数据挖掘和智能分析提供更加规范和优质的数据源。

### （二）数据分析和智能决策层

基于大数据技术和人工智能技术，对采集的燃料数据进行深度挖掘和分析，为电厂燃料管理提供科学依据和智能决策支持，该层通过构建复杂的数据模型，实现煤质、库存状况、配煤方案等多维度、多层次的数据分析。在煤质分析方面，该层可以实时监测煤炭的各项质量指标，如发热量、灰分、硫分等，根据历史数据和行业标准对煤炭质量进行综合评价和预警。在库存分析方面，该层可以实时显示煤场的库存分布、库存数量和库存周期，为电厂的库存管理和采购计划提供决策依据。在配煤方案优化中，该层可以根据煤质和锅炉运行要求帮助运行调整配煤比例和配煤策略，实现锅炉的高效、稳定、环保运行，该层还具有自学习和优化功能，可以不断从数据中学习新的规律和模式，优化分析模型和决策算法，提高系统的智能水平和决策精度。<sup>[2]</sup>

### （三）自动化控制和执行层

自动控制和执行层负责将数据分析和智能决策层的结果转化为具体的操作指令，实现燃油管理各个环节的自动控制，该层通过集成先进的自动控制系统和智能执行器，如 PLC（可编程逻辑控制器）、DCS（分布式控制系统）、智能机器人等，实现煤炭进厂、质量验收、转运卸车、煤场储存、配煤展示全过程的自动化操作。该层可以在煤炭进厂、检测等方面自动完成煤炭的称重、取样、检测等过程，通过智能机器人实现煤炭的自动归批制样和化验，大大提高了工作效率和安全性。<sup>[3]</sup>在煤场管理方面，该层可以自动展示煤场的现状和库存分布，便于实现煤场的优化管理和高效利用，在配煤掺烧方面，该层可以根据数据分析帮助调整配煤比例和掺烧策略，通过智能控制系统实现对锅炉入炉煤的数据检测。此外，该层还具有故障预警和应急处理功能，可以实时监测设备的运行状态和参数变化，及时发现和处理潜在的故障和异常情况，保证燃料管理系统的稳定运行和安全生产。

## 二、技术实现

### （一）物联网和大数据融合技术

在智能燃油管理系统中，物联网和大数据的融合技术是实现智能感知和数据采集的关键，物联网技术通过部署各种传感器、智运盒、摄像头等物联网设备，构建覆盖煤炭燃烧全生命周期的物联网网络，这些设备可以实时采集煤炭的水分、湿度、重量、图像等关键信息，并通过无线网络传输到数据中心。<sup>[4]</sup>大数据融合技术负责对这些海量数据进行整合、清洗、分析和挖掘，通过建立分布式数据库和大数据处理平台，系统可以高效地存储和管理这些数据，并使用数据挖掘算法和机器学习模型从数据中提取有价值的信息和规则，这些信息不仅用于实时监测和预警，还为后续的智能决策和自动控制提供了科学依据。物联网与大数据融合技术的结合，使得智能燃料管理系统能够实现对煤炭燃烧全生命周期的精确监控和高效管理，该系统通过实时监测燃煤的参数和

状态，及时发现潜在的问题和风险，为电厂的燃料管理提供有力的支持。

### （二）人工智能和机器学习算法

通过构建基于深度学习和神经网络的智能模型，系统可以自动学习和识别煤燃烧的特征和质量指标，这些模型可以根据历史数据和行业标准对燃煤质量进行综合评价和预警，为电厂采购和库存管理提供决策依据。<sup>[5]</sup>此外，人工智能和机器学习算法也可用于优化配煤方案和配煤燃烧策略，该系统通过分析煤质与库存分布，为运行调整配煤比例和配煤策略提供依据，实现锅炉高效、稳定、环保运行。系统具备智能配煤掺烧策略功能，进一步利用后不仅可以提高锅炉的燃烧效率，还可以减少污染物的排放，达到节能减排的目的。人工智能和机器学习算法的应用使燃料智能管理系统具有自学习和优化能力，系统通过不断从数据中学习新的规律和模式，不断优化分析模型和决策算法，提高智能水平和决策准确率。

### （三）自动控制系统和智能执行器

自动控制系统采用先进的 PLC、DCS 等技术，可实现煤炭进厂、质量验收、转运卸车、煤场储存、煤样管理全过程的自动控制。<sup>[6]</sup>智能执行器包括智能机器人、自动输送设备、智能存样、智能化验等，能根据自动控制系统的指令自动完成自动计量、采样、煤样转运和化验等操作，这些智能执行器不仅提高了工作效率和安全性，还减少了人为干预和人为错误，为电厂燃料管理提供了有力支持。自动控制系统和智能执行器的结合，使燃料智能管理系统实现了燃煤全生命周期的自动控制和管理，该系统通过实时监控和自动控制，确保煤炭的储存、保管、保管和配煤各环节符合规定的要求和标准，为电厂燃料管理提供了可靠保障。

### （四）网络安全和数据保护技术

因为系统涉及到很多敏感信息和数据，比如煤质、库存状况、采购计划等，必须采取严格的网络安全措施和数据保护措施，网络安全技术包括防火墙、入侵检测系统、安全审计系统等，可以实时监控和防御外部网络攻击和威胁，通过构建安全的网络通信协议和加密机制，系统可以保证数据传输和存储的安全性和保密性。数据保护技术包括数据备份、恢复和容灾，通过定期备份和存储关键数据，系统可以在出现故障或数据丢失时及时恢复数据，保证系统的连续性和稳定性，通过建设容灾备份系统，在出现严重故障或灾难时，系统可以快速切换到备份系统，保证业务连续性和数据完整性。随着网络安全和数据保护技术的应用，智能燃料管理系统能够保证数据的安全性和保密性，为电厂燃料管理提供了可靠的保障，这些技术还可以提高系统的可靠性和稳定性，保证系统的正常运行和业务连续性。<sup>[7]</sup>

## 三、可靠性研究和措施

### （一）组件冗余设计和容错机制

组件冗余设计和容错机制在智能燃油管理系统中起着至关重要的作用，它们共同构成了系统稳定运行的坚实防线，这种策略不仅需要在设计阶段充分考虑各种可能的故障场景，还需要在实

际运行中不断验证和优化。组件冗余设计是指在系统中增加具有相同功能的额外组件，以便当主组件出现故障时，备用组件可以立即接管工作，这种设计可以大大提高系统的可用性和可靠性。在智能燃料管理系统中，这通常体现在取样器、分析仪、传送带等关键设备的双备份或多备份，容错机制是在系统运行过程中能够自动检测错误、纠正错误或采取补救措施以防止错误扩散的机制，它通常包括错误检测、错误隔离、错误恢复等步骤。<sup>[8]</sup>以“国家能源集团智能燃料升级项目”为例，该项目在燃料接收、储存、制备、测试、分析等各个环节都采用了组件冗余设计。比如在燃煤取样环节，系统配备了双取样设备。当一台设备出现故障时，另一台设备可以立即启动，也可双侧同步工作，以保证采样工作的连续性和准确性，系统还引入了先进的容错机制，如智能诊断模块，可实时监控设备运行状态，发现异常立即触发预警，并自动调整设备参数或切换至备用设备，有效避免设备故障造成的系统中断。此外，项目还通过模拟各种故障场景，对系统的冗余设计和容错机制进行全面测试和优化。例如，通过模拟采样设备故障、传输带断裂等场景，验证系统在不同故障情况下的响应速度和恢复能力，这些测试不仅提高了系统的可靠性，也为后续的系统维护和优化提供了宝贵的经验。<sup>[9]</sup>

## （二）实时监控系统和智能预警

实时监控系统和智能预警是智能燃油管理系统不可或缺的重要组成部分，能够实时感知系统的运行状态，及时发现和处理潜在的问题，从而保证系统的稳定运行。实时监控系统通过采集和分析系统各环节的实时数据，可以全面反映系统的运行状态，这些数据包括但不限于燃料质量、库存、设备运行状态、环境温度和湿

度等，通过对这些数据的实时监控和分析，系统可以及时发现和处理潜在的问题，如燃油质量异常和设备故障等。智能预警系统是基于实时监控系統采集的数据，通过预设的规则和算法，快速分析判断异常数据，并发出预警信号，这些预警信号可以是声、光、短信、邮件等多种形式，以便管理者及时得到预警信息，采取相应的处理措施。以“华电集团智能燃料管理平台”为例，该平台通过部署实时监控系統，实现对燃料接收、储存、制备、检测、分析的全方位监控，该系统可以实时监测燃料的质量指标，如灰分、水分、挥发分等。一旦发现异常，会立即触发预警机制，提醒管理者进行审查和处理，平台还通过智能预警系統对设备运行状态进行实时监控和预警，比如当设备温度异常升高或振动异常时，系统会立即发出预警信号，并推荐相应的处理措施，如停机检查、更换配件等。<sup>[10]</sup>此外，平台通过不断学习和优化预警规则和算法，提高预警的准确性和及时性，比如，通过引入机器学习算法，系统可以自动学习历史数据和故障模式，从而更准确地判断当前数据的异常情况，给出更合理的预警建议。

## 四、结语

智能化管理系统的应用显著提高了电厂燃料管理的效率和准确性，降低了运营成本，提升了电厂的经济效益，展望未来，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，电厂燃料智能化管理系統将进一步优化和完善。将继续关注电厂运营管理的最新趋势和需求，不断提升系统的智能化水平和用户体验，还将加强与其他先进技术的融合应用，推动电厂燃料管理向更高层次发展。

## 参考文献

- [1]王明莉,张丽. 基于物联网技术的电厂燃料智能化管理系統设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2022,(7):60-64.
- [2]李华夏,赵小勇. 电厂燃料消耗预测与库存优化研究[J]. 电力科学与工程, 2021,37(3):67-72.
- [3]刘晓军. 大数据在电厂燃料管理中的应用与实践[J]. 信息技术, 2020,(9):135-139.
- [4]张江涛,陈洁. 基于云计算的电厂燃料数据存储与安全管理[J]. 计算机与网络, 2019,45(11):78-82.
- [5]郭晓,马琳. 电厂燃料智能化管理系統的设计与实施[D]. 成都:西南交通大学, 2018.
- [6]付高见,沈思贤,涂攀,等. 基于DCS控制的燃料智能化管理系統分析与应用[J]. 电气技术与经济, 2023,(07):86-90.
- [7]邓卫梅. 火电厂智慧燃料管控制系統浅析[J]. 电气技术与经济, 2022,(05):94-95+99.
- [8]江建亚. 火力发电企业燃料管理信息化应用探析[J]. 企业改革与管理, 2023,(06):40-41.
- [9]王铮. 发电厂的燃料采制智能化管理分析[J]. 集成电路应用, 2022,39(11):288-290
- [10]孙洪江. 燃料智能化实现的功能及应用分析[J]. 中国高新技术企业, 2016,(36):61-62.

# 热工参数仪表测量技术与 DCS 系统的协同应用

周锦扬, 王鑫, 马全秀

华能兰州热电有限责任公司, 甘肃 兰州 730104

**摘 要 :** 对于当下的企业而言, 热工参数仪表测量技术与 DCS 系统的协同应用研究是至关重要的。在企业生产的过程中, DCS 系统能够实时处理来自仪表的数据, 通过先进的算法和软件工具, 可以校正和优化测量结果减少误差。基于此本文首先对热工参数测量技术以及 DCS 系统进行概述, 随后根据当下的应用现在分析了热工参数测量技术与 DCS 系统协同应用中的难点, 最后针对这些问题提出了针对性的优化策略, 期望通过这些策略的应用为企业的相关技术协同应用提供帮助。

**关 键 词 :** 热工参数仪表; 测量技术; DCS 系统; 协同应用

## Collaborative Application Of Thermal Parameter Instrument Measurement Technology and DCS System

Zhou Jinyang, Wang Xin, Ma Quanxiu

Huaneng Lanzhou Thermal power Co., LTD. Lanzhou, Gansu 730104

**Abstract :** For the current enterprises, the collaborative application research of thermal engineering parameter instrument measurement technology and DCS system is crucial. In the process of enterprise production, the DCS system can process data from instruments in real time, and advanced algorithms and software tools can correct and optimize the measurement results to reduce errors. Based on this paper first overview of thermal parameter measurement technology and DCS system, then according to the application of the present now analyzes the difficulties in thermal parameter measurement technology and DCS system collaborative application, finally put forward targeted optimization strategy for these problems, expect through the application of these strategies can help enterprise related technology collaborative application.

**Keywords :** thermal parameter instrument; measurement technology; DCS system; collaborative application

### 引言

在现代工业生产中, 热工参数的准确测量对于保证生产安全、提高产品质量和生产效率具有举足轻重的作用。随着自动化技术的不断进步, 热工参数仪表测量技术与分布式控制系统的结合愈发紧密, 它们共同构成了工业自动化的核心。DCS 系统作为工业自动化控制的中枢, 能够对生产过程中的各种参数进行集中监控和管理, 而热工参数仪表则负责提供准确的现场数据。两者的协同工作, 不仅能够实现对生产过程的精确控制, 还能及时发现并处理潜在的问题, 从而确保整个生产过程的稳定性和可靠性。

### 一、热工参数测量技术

#### (一) 温度测量技术

温度测量技术是热工参数测量技术中的核心部分, 当下的在工业生产与科学研究以及日常生活中都扮演着至关重要的角色。随着近些年来科技的进步, 使得当下的温度测量技术已经发展出多种方法, 主要包括接触式和非接触式两大类。接触式测量技术主要依赖于温度传感器, 如热电偶、热电阻和半导体温度传感器等技术, 在应用中通过与被测物体直接接触来测量温度。这些传感器具有响应速度快、测量范围广、精度高等优点, 广泛应用于

各种工业场合。例如热电偶因其结构简单、成本低廉、测量温度范围宽而被广泛应用于冶金、化工、电力等行业<sup>[1]</sup>。

#### (二) 压力测量技术

在现代工业中, 压力测量技术不仅要求高精度和高可靠性, 还要求能够适应各种恶劣的工作环境。因此, 压力传感器的种类繁多, 包括机械式、电子式、光学式等多种类型。机械式压力表如弹簧管压力表、膜盒压力表等, 它们结构简单、成本低廉, 但精度和稳定性相对较低。电子压力传感器则具有更高的精度和更好的稳定性, 它们通常利用压电效应、压阻效应或电容式原理来测量压力。在压力测量技术中, 压力传感器的选择和使用是关

作者简介: 周锦扬 (1999.12-), 男, 汉族, 四川省巴中市巴州区人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 热电厂热控专业。



键。传感器的量程、精度、响应时间、温度补偿、抗干扰能力等参数必须根据实际应用的需求来确定<sup>[2]</sup>。

### （三）流量测量技术

流量测量是工业生产中至关重要的环节，它涉及到流体（液体、气体或蒸汽）在管道中的流动速率的测定。流量测量技术的准确性直接影响到整个生产过程的效率和成本控制。随着科技的发展，流量测量技术不断进步，出现了多种测量方法，每种方法都有其特定的应用场景和优势。在当前企业的应用当中，一种常见的流量测量技术是差压流量计，它基于伯努利方程原理，通过测量流体在管道中两点之间的差压来计算流量。例如，孔板流量计就是差压流量计的一种，它在管道中安装一个带有孔的板，流体通过孔板时产生压力降，通过测量孔板前后压力差，结合孔板的尺寸和流体的物理性质，可以计算出流量。孔板流量计适用于各种工业场合，尤其在石油、化工和能源行业中应用广泛<sup>[3]</sup>。

## 二、DCS系统概述

### （一）DCS系统的定义与组成

DCS系统是一种用于工业生产过程控制的计算机控制系统，在企业生产运作当中，这一技术通过将控制功能分散到多个控制单元中，以此来实现对生产过程的实时监控和管理。DCS系统的设计宗旨在于，提高控制系统的可靠性与灵活性和可扩展性，同时降低维护成本和提高操作效率<sup>[4]</sup>。

### （二）DCS系统的主要功能与特点

随着近些年来工业自动化技术的不断进步，使得DCS已经逐渐成为现代工业生产中不可或缺的一部分。在工业生产的应用当中，DCS系统的主要功能与特点在于其高度的可靠性和灵活性，能够实现对复杂工业过程的集中监控和分散控制。通过将控制功能分散到现场的各个控制单元，DCS系统不仅提高了系统的稳定性和抗干扰能力，还大大降低了因单点故障导致整个系统瘫痪的风险。除此之外DCS系统通常具备强大的数据采集和处理能力，能够实时收集和分析生产过程中的各种参数，为操作人员提供准确的决策支持<sup>[5]</sup>。

### （三）DCS系统的未来发展趋势

DCS是一种高度集成的计算机控制系统，当前广泛应用于工业自动化领域。在工业生产中DCS系统可以通过分散控制和集中管理的方式，实现了对工业生产过程的实时监控和控制。它由多个控制站、操作站、通讯网络和人机界面组成，能够处理大量数据并执行复杂的控制策略。这一技术将伴随着智能制造的推进，朝着更加智能化、集成化和网络化的方向发展。未来DCS系统将更加注重与信息技术的融合，例如物联网、大数据分析、云计算和人工智能等技术的集成应用<sup>[6]</sup>。

## 三、热工参数仪表测量技术与DCS系统协同应用中的挑战

### （一）数据同步与处理延迟问题

在热工参数仪表测量技术与DCS系统协同应用中，数据同步

与处理延迟问题是一个突出的挑战。这是因为由于热工参数仪表通常分布在生产现场的不同位置，使得其所收集的数据需要通过网络传输到DCS系统进行集中处理和监控。然而数据在传输过程中可能会遇到各种延迟，包括网络延迟、数据处理延迟以及系统内部的排队延迟等。具体而言网络延迟是由于数据在传输介质中传播速度有限以及网络设备处理数据包的时间造成的。在复杂的工业环境中，网络设备众多，数据包可能需要经过多次路由才能到达DCS系统，这无疑增加了数据传输的时间<sup>[7]</sup>。

### （二）系统兼容性与集成难度

尽管当下的热工参数仪表测量技术与DCS系统在现代工业中扮演着至关重要的角色，但它们之间的协同应用仍面临诸多挑战。其中系统兼容性与集成难度是当下应用中两个主要的难题。具体展开而言，是因为热工参数仪表，如温度、压力、流量和液位传感器的使用通常需要与DCS系统进行无缝集成，以便实时监控和控制工业过程。然而现实的情况是，不同制造商生产的仪表和DCS系统可能采用不同的通信协议和接口标准，这使得它们之间的兼容性成为一个挑战。例如一些传统的热工参数仪表可能使用4-20mA模拟信号，而现代DCS系统可能更倾向于使用数字通信协议，如HART或Foundation Fieldbus。这种不匹配要求额外的转换设备或接口模块，增加了系统的复杂性和成本<sup>[8]</sup>。

### （三）现场仪表的维护与校准挑战

现场仪表的维护与校准也是当下工作人员在热工参数仪表测量技术与DCS系统协同应用中的重要挑战。随着现在工业自动化程度的不断提高，使得现场仪表的稳定性和准确性对于整个生产过程的控制至关重要。然而现场仪表在长期运行过程中，往往会由于环境因素、机械磨损、电气老化等原因，使得设备性能逐渐下降，这就需要定期进行维护和校准。但是对于处在一些恶劣的工业环境中仪表而言，工作人员的维护工作变得尤为困难。这些环境条件不仅会加速仪表的老化，还可能对维护人员的安全构成威胁。因此工作人员需要采取特殊的防护措施，并使用适应性强的维护工具和材料。

### （四）安全性与可靠性问题

在安全性与可靠性这一层面，热工参数仪表测量技术与DCS系统的协同应用面临着一系列挑战。在当下工业生产的要求之下，杀跌系统中所涉及的设备和传感器数量急剧增加，这不仅增加了系统的复杂性，也对系统的安全性和可靠性提出了更高的要求。在这一精密仪器的运行当中，任何单一设备的故障都可能导致整个系统的不稳定甚至瘫痪，因此如何确保每个环节的稳定运行成为了一个亟待解决的问题<sup>[9]</sup>。

## 四、热工参数仪表测量技术与DCS系统的协同应用策略

### （一）优化DCS系统架构

对于现代化的工业生产而言，分布式控制系统是实现生产过程自动化的核心技术之一。而研究人员为了进一步提高热工参数仪表测量技术与DCS系统的协同应用效果，就重点需要对DCS系

统架构进行优化。优化的目标是提高系统的响应速度、可靠性和灵活性，以适应复杂多变的生产需求。例如在一个化工生产过程中，温度、压力、流量和液位等热工参数的实时监测至关重要。通过优化 DCS 系统架构，可以实现对这些参数的快速准确采集和处理。研究人员通过采用模块化设计，可以将 DCS 系统划分为多个功能模块，。每个模块负责特定的任务，这样不仅便于维护和升级，还能提高系统的整体性能。

（二）采用标准化的通信协议

在现代工业自动化领域，确保不同设备和系统之间的无缝通信是实现高效、稳定运行的关键。采用标准化的通信协议是解决这一问题的有效手段之一。而研究人员为了实现热工参数仪表与 DCS 系统之间的高效集成，采用标准化的通信协议是至关重要的。标准化协议如 Modbus、Profibus、Foundation Fieldbus 和 HART 等，已被广泛应用于工业自动化领域，它们为不同厂商的设备提供了共同的语言，从而简化了系统集成过程。在实践的应当中，Modbus 协议因其简单、开放和易于实现的特点，被广泛应用于各种工业控制系统中。它支持多种物理层标准，如 RS-232、RS-485 和 TCP/IP 等，使得热工参数仪表可以通过 Modbus 协议与 DCS 系统进行数据交换。通过定义统一的数据格式和功能码，Modbus 协议确保了数据的一致性和可靠性<sup>[10]</sup>。

（三）实施远程诊断和维护功能

随着当下工业自动化水平的不断提高，这对于当下的企业而言，在生产中热工参数仪表测量技术与 DCS 的协同应用策略变得越来越重要。而为了确保系统的稳定运行和提高生产效率，实施远程诊断和维护功能成为了一个关键步骤。其中建立一个可靠的通信网络是远程诊断和维护的基础。要求企业在实施中应包括确保现场仪表、DCS 系统以及远程维护中心之间的数据传输安全、稳定且高效。为此可以采用光纤、无线通信或 VPN 等技术来构建通信网络。同时还需要对网络进行定期的维护和升级，以适应不断变化的技术需求。

五、结语

综上所述，在热工参数仪表测量技术与 DCS 系统的协同应用中，面对数据同步与处理延迟、系统兼容性与集成难度、现场仪表的维护与校准挑战以及安全性与可靠性问题，企业必须采取一系列策略来优化系统性能和保障生产安全。优化 DCS 系统架构、采用标准化的通信协议、实施远程诊断和维护功能以及多层次的安全防护措施是关键步骤。通过这些措施，可以提高系统的响应速度、可靠性和灵活性，确保数据的准确传输和处理，同时降低维护成本和提高操作效率。

参考文献

[1] 郭素娜, 李光, 季增祺, 等. 基于 CFD 仿真的差压微小流量计设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2022, (03): 45-49+56.  
[2] 陶小利, 高嵩, 黄宏伟, 等. 高温工况下热工参数测量的系统解决方案的研究 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2022, (01): 121-122+126.  
[3] 向鹏. 核电站数字化、智能化控制保护系统的研发与展望 [J]. 高科技与产业化, 2023, 29(12): 30-33.  
[4] 胡彦亮, 张旭, 彭浩, 等. 基于全域仿真验证的安全级 DCS 一体化协同设计 [J]. 自动化仪表, 2023, 44(S1): 51-54.  
[5] 张闯, 魏灿, 禹敏, 等. 水泥粉磨系统智能化建设新方案 [J]. 水泥技术, 2023, (06): 23-28.  
[6] 陈辉. 焚烧气体控制与反馈调节系统的研究与开发. 浙江省, 绍兴市再生能源发展有限公司, 2023-09-10.  
[7] 顾彬, 黄富表, 李泓钰, 等. 经颅直流电刺激对卒中后失眠的疗效 [J]. 中国康复理论与实践, 2022, 28(12): 1466-1472.  
[8] 王淑婧, 刘光威, 张伟. 基于 3DCS 的扭梁后悬架定位参数偏差分析 [J]. 汽车零部件, 2022, (12): 50-54.  
[9] 梁海娟. 顺序控制系统在热电厂中的应用 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(12): 152-154.  
[10] 魏革, 扈伊莎. DCS 报警的优化和管理 [J]. 聚氯乙烯, 2022, 50(12): 17-22.

# 热电厂热控专业热工信号干扰问题及解决办法

李振鑫, 李建伟, 樊权乐

华能兰州热电有限责任公司, 甘肃 兰州 730104

**摘 要：** 热电厂作为一个重要的工业基础设施，在能源生产和供应中扮演着至关重要的角色，为了确保稳定高效的运行，热控系统对于监测和调节锅炉、汽轮机等关键设备的温度和压力参数至关重要。由此本文对热电厂热控专业中热工信号的相互干扰进行较为深入的研究，通过对电磁干扰、电源干扰、接地干扰、信号线干扰等干扰源的分析，阐明热力信号干扰对测量精度、控制可靠性以及设备维修和故障诊断的影响，研究采用硬件监控与软件分析相结合的方法，希望可以为火电厂热控系统的稳定运行提供强有力的保证。

**关 键 词：** 热电厂；热控专业；热工信号干扰；解决办法

## Thermal Power Plant Thermal Control Professional Thermal Signal Interference Problem and Solutions

Li Zhenxin, Li Jianwei, Fan Quanle

Huaneng Lanzhou Thermal power Co., LTD. Lanzhou, Gansu 730104

**Abstract：** As an important industrial infrastructure, the thermal power plant plays a vital role in energy production and supply. In order to ensure stable and efficient operation, the thermal control system is crucial for monitoring and adjusting the temperature and pressure parameters of key equipment such as boilers and steam turbines. In this paper, the research of the thermal signals in the analysis of interference sources, electromagnetic interference, power interference, ground interference, signal line interference, clarify the thermal signal interference on measurement accuracy, control reliability and equipment maintenance and fault diagnosis, research using the method of combining hardware monitoring and software analysis, hope to provide a strong guarantee for the stable operation of the thermal control system in thermal power plant.

**Keywords：** thermal power plant; thermal control specialty; thermal signal interference; solution

### 引言

在热电厂的生产过程中，热控系统是一个非常重要的组成部分，它承担着准确的测量、控制和监控各项热工参数的任务，能够保证整个过程的安全、稳定、高效。但是热电厂的热控专家往往会遇到热工信号的扰动，造成测试数据不准确以及控制指令错误，从而引起设备故障或停机，对热电厂的正常运行造成很大的影响。因此本文对热力系统中的热信号扰动问题进行深入研究，寻求有效的处理方法是一项非常有意义的工作。

### 一、热电厂热控系统的重要性

热电厂的热控系统通过多种传感器和仪器，能够实时地获取热工参数，如温度、压力、流量、液位等，并将这些信息传送给控制系统，使其能够按照预先设定的控制策略，对各个执行器（如阀门、泵、风机等）的工作状态进行调整，达到对整个热动力生产过程的精准调控。比如在锅炉的燃烧控制系统中，要对炉膛温度、烟气含氧量等进行精确测量，才能对煤粉和送风进行合理的调整，从而确保锅炉的高效、稳定运行；在汽轮机控制系统中工作人员需要对汽轮机的速度、蒸汽压力、水温等参数进行准确的监控，以实现机组的高效、稳定运行。但是当热控系统发生故

障或信号被扰动时，整个热动力生产过程就会失控，从而引起设备损伤、生产中断、能源浪费，甚至危及人身安全等一系列严重后果。

### 二、热工信号干扰源的类型分析

#### 1. 电磁干扰

热电厂中有许多电机、变压器、电焊机、通讯等电器设备及电磁辐射源，这些装置在工作时会形成较强的交变电磁场，当高温工作用电缆接近其时，能够在其内部引入扰动 EMF，进而影响热工信号的传输品质。比如在大容量电动机启动过程中会在瞬间

作者简介：李振鑫（1993.09-），男，汉族，甘肃省平凉市庄浪县人，大学本科，工程师，现从事火电厂热控专业一线工作。

形成较强的磁场，从而引起周围热工仪器的测量数据的起伏和畸变。同时闪电还是一种很强的 EMI 源，其释放的电磁波可以通过空间辐射、传导等途径侵入热控系统，对热工信号产生严重的扰动，甚至导致器件的损伤。<sup>[1]</sup>

## 2. 电源干扰

热电厂的供电方式是比较稳定的，但是也会有一定的干扰。一方面电网电压波动、尖峰脉冲以及浪涌等现象普遍存在，这些不稳的供电电压会对热控装置的正常运行产生不利的影响，造成热工信息的获取与处理误差。比如在电网中发生过电压过大时，热控仪器的功率模块会受到一定的冲击，从而导致仪器输出不正确的信号。另一方面电力系统中存在着不可忽视的谐波污染，热电厂采用大量的非线性负荷装置（如变频器、整流器等），它们会将谐波输入到电网中导致电网的阻抗上出现谐波电压下降，从而使电源电压波形发生畸变，影响热控设备的供电质量以及干扰热工信号的传输和处理。

## 3. 接地干扰

在热电厂的热控系统中，接地系统是保证设备安全可靠、信号可靠传送的关键，但若接地设计不当或施工不当，极易引起接地干扰。在实际应用中，工程人员通常会遇到多点接地造成的地电势循环扰动，以及由于接地电阻太大而造成的信号不稳。比如热控装置各部件单独接地、其接地电阻大小不一，热控信号在传递过程中将遭受地电势环流的影响，造成信号误差增加，甚至造成信号传递中断。

## 4. 信号线路干扰

热电厂的热工信号线路分布范围广，经常要经过复杂的电磁环境及物理空间，由此受各种因素影响较大。多条信号线间互相串扰是一种普遍存在的现象，即多条信号线并联排列，彼此间存在着电磁耦合效应，导致信号在传输过程中产生相互干扰。比如在电力系统中如果不对电力系统进行有效的绝缘，这些电力系统中就会存在大量的电力信号，另外由于信号线路的损坏、接头松动或接触不良都会使信号的传输品质变差，同时还会引起外部的干扰。

# 三、热工信号干扰对热电厂热控系统的影响

## 1. 对测量准确性的影响

热力信号的扰动可能会对测试仪器所接收的信号产生失真或者与附加的干扰相叠加，造成测试结果与实际数据产生偏差。在一定条件下，温度传感器的输出信号会发生起伏，导致测量结果的不稳定，从而不能很好地反映实际温度的变化，导致控制命令也发生变化，使整个生产过程达不到理想的工作状态，降低产品的质量与生产效率。

## 2. 对控制可靠性的影响

精确的信号输入与稳定的控制算法是保证热控系统可靠性的重要保证。当热工信号被扰动时，会引起控制信号的错误动作或滞后，从而造成执行器的动作偏离实际要求。比如当水位信号被扰动，产生虚假的水位波动信号时，控制系统就会对给水泵的流

量进行错误调整，造成水位波动、锅炉满水、断水等事故，对电厂的安全运行构成极大的威胁。<sup>[2]</sup>

## 3. 对设备维护与故障诊断的影响

火电厂热力系统中的热力信号受到扰动，由此对其进行维修、故障诊断等工作造成很大的影响。同时受外界扰动的影响，热工仪器的测试结果往往呈现出不平稳甚至不正常的现象，给维护人员带来很大的困难。如某一压力计所测得的压力值出现不正常的波动，应考虑其自身的问题、电磁干扰和信号线的干扰。

# 四、热工信号干扰的诊断方法

## 1. 基于硬件设备的监测与诊断

工作人员通过在热控系统中加装专用的监控装置，能够实现对热控信号传递过程的实时监控与分析，以及对有无干扰信号的判定。比如利用示波器能直接观测到热工信号波形的变化，并能对信号中有无尖峰脉冲、振荡等异常现象进行探测。频谱分析仪能通过分析信号中的各种成份来判断有无特殊频率的干扰，例如供电的谐波等。另外，工程人员也可加装信号隔离器或滤波器等硬件装置，将干扰信号从信号传送通道中分离、滤除，并根据其运行状况及输出信号，判定干扰源及程度。例如，若信号隔离器出端仍有干扰，则有可能是由于隔离器前置线的原因，也有可能是由于其内部的电磁环境造成的；若滤波器能对某一特定频率的干扰讯号进行有效过滤，则其来源为此频段之谐波或电磁辐射。<sup>[3]</sup>

## 2. 软件数据分析与诊断方法

工程人员通过热控系统的软件可以对所收集的热负荷数据的深度分析，从而找出可能存在的信号扰动问题。比如利用数据趋势分析可以观测到各热力参数的变化情况，若发现某一参量发生频繁的变动，或者是反常的改变，这就有可能是信号扰动。另外也可以利用数据统计分析的方式，对热工数据的均值、方差、标准差等进行计算，并将其与正常运行时的数据统计特性相比较，判定数据的离散性是否太大，进而判定有没有干扰。

# 五、热电厂热工信号干扰的解决办法

## 1. 电磁干扰的抑制措施

### （1）屏蔽技术的应用

在热工信号电缆上工程人员可使用诸如铜网、铝箔等金属屏蔽层，屏蔽层要有较好的接地将外部 EMI 信号导入地下，避免其渗入到线缆中，从而影响信号的传递。比如在铺设热电偶信号电缆时，可以选择特殊的有屏蔽层的电缆，并使屏蔽层在信号源、接受端都有可靠的接地。对某些对电磁干扰比较敏感的电子仪器、控制器等热控装置，还可将其设置在金属屏蔽箱中，其壳体必须和接地系统紧密相连，构成一个综合的屏蔽空间，进而有效地阻止外部 EMI 的入侵。<sup>[4]</sup>

### （2）滤波技术的运用

滤波是指在热工信号线路上加一条滤波器，对某一频率的干



扰进行有选择的滤除。比如，针对电力系统的谐波问题，可以在热控制装置的供电入口设置一个功率滤波器，对电网中的高频谐波进行有效地过滤，从而使得输入到装置的供电电压波形更平稳。针对热工信号线的高频 EMI 问题，工程人员可以通过在信号线缆两端或者中部合适的地方加一条信号滤波器，压制干扰信号的传播，进而改善信号品质。

### （3）合理布局与隔离

在火电厂的设计与施工中，工程人员要对热控设备及电器进行合理的布置，尽可能地将热工信号电缆与电机、变压器等强电磁辐射源隔离开来。同时对各种型号的电缆（包括强弱电缆）要分别敷设，在需要的时候可以使用电缆桥架或电缆沟将其隔离。比如在铺设光缆时，工程人员可以在桥架的一端配置电力电缆，在另一端配置热工信号电缆，并利用金属隔断将两者分开，从而使线缆间的电磁干扰得到最大程度的降低。另外在某些关键的温度控制装置及信号线上，还可以采用单独的屏蔽室或线槽进行隔离保护，进一步降低电磁干扰的影响。

## 2. 电源干扰的应对策略

### （1）稳压与稳频设备的配置

稳压电源可以根据实际情况，对系统的电压进行自动调整，并将其维持在一个稳定的范围之内。为解决由于电网电压、频率等因素引起的温度控制问题，可以在热控系统中加稳压电源及稳频装置。比如在线不间断电源（UPS），其不但能够在电网断电的情况下，持续向热控设备供电，从而保障整个系统的正常运转。稳频装置能够监控并调节电网的频率，保证控制装置的供电频率在规定的范围内，从而防止由于频率的波动而引起的设备不正常工作。

### （2）谐波治理措施

在电力系统中，由于谐波的存在，必须对其进行有效的控制，工程人员可以利用非线性负荷（如变频器、整流器等）接入到电网中，通过对其进行滤波，使其有效地抑制由非线性负荷引起的谐波，并将其引入到电网中，进而减小系统的谐波畸变。同时工程人员通过对热电厂用电设备的布置及操作模式进行优化，能够减少非线性负荷的用量，缩短运行周期，从根源上减小谐波的发生。

## 3. 接地系统的优化改进

### （1）单点接地原则的遵循

在热控系统的接地设计中，工程人员必须严格遵守“单点接地”的原则，将热控装置、信号线等全部接地于同一地点，防止多点接地，以降低接地电流。比如把控制系统中的信号地线、保护地线、屏蔽地线等均与一条接地母线相连，接地母线与热电厂的主接地网通过地线可靠地相连。

### （2）接地电阻的降低

为了提高接地系统的抗干扰能力，工程人员需要尽可能降低接地电阻，采用增大接地极数目，采用深埋接地极和使用降阻剂等措施可减小接地电阻。如在高电阻率区域可设置深井接地体，并将接地体埋入地下，充分利用深部土层的低电阻率，减小地电位；也可以在接地体附近铺设降阻剂，以提高接地体附近的土体的导电性，达到减小接地电阻的目的。<sup>[6]</sup>另外为了保证热控系统的稳定运行，还需要对接地电阻进行定期的检查与维修，以保证其在合理的范围之内。

## 六、结语

热电厂热控系统的热信号干扰是一项涉及电磁学、电力电子和信号处理等多个学科交叉的技术难点。本文在对热力信号干扰源进行深入剖析的基础上，发现电磁干扰、电源干扰、接地干扰、信号线干扰等都会对热工信号的传递与处理造成不利的影响，从而对火电厂热控系统的安全、稳定运行构成极大的威胁。针对上述问题，本文从屏蔽、滤波与合理布局两个方面开展研究，重点研究屏蔽、滤波与合理布局，以及电源干扰的稳压稳频与谐波治理、接地系统的优化设计与信号线的抗干扰措施。因此工作人员在工程实践中要结合火电厂的具体条件和扰动问题的特征，将上述方法进行集成，对热控系统的设计、安装及维护进行持续的优化，保证热工信号的精确传递和控制系统的可靠工作，从而为火电厂的安全、高效运行提供强有力的保证。与此同时，随着科学技术的发展与进步，新型干扰源与抗干扰技术也会随之出现，因此热控工作者必须时刻关注产业发展趋势，不断地学习与研究新的技术手段，以满足生产要求与技术挑战。

## 参考文献

- [1] 连达得，柯一鸿，黄培松. 热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用研究 [J]. 装备维修技术, 2023, (05): 29-32.
- [2] 曹伟，张英，周驰，等. 一起保护误动引发非计划停机的分析及解决措施 [J]. 吉林电力, 2020, 48(04): 51-53.
- [3][3] 刘艳. 热能与动力工程在热电厂中的应用 [J]. 石河子科技, 2023, (02): 38-40.
- [4] 游翀. 做好能源保供守护万家灯火 [N]. 中国劳动保障报, 2023-11-08(002).
- [5] 贾志远. 热电厂汽轮机的检修及安全运行 [J]. 电子技术与软件工程, 2019, (13): 234.

# 电力变压器状态检修技术的智能化应用与发展趋势

王达

辽宁清河发电有限责任公司, 辽宁 铁岭 112003

**摘 要：** 电力变压器作为电力系统中关键的设备之一，其运行状态直接关系到整个电网的稳定性和可靠性。传统的变压器检修方式主要依赖于定期的预防性维护，这种方法虽然在一定程度上能够保证设备的正常运行，但存在明显的不足。针对于此本文首先对电力变压器状态检修技术进行概述，随后阐述了这一技术智能化应用的重要性，并针对智能化应用中遇到的相关问题，提出了针对性的优化策略。期望通过这些策略的实施与开展，能为电力企业的发展提供帮助。

**关 键 词：** 电力变压器；状态检修技术；智能化应用

## Intelligent Application and Development Trend of State Maintenance Technology for Power Transformers

Wang Da

Liaoning Qinghe Power Generation Co., Ltd. Tieling, Liaoning 112003

**Abstract：** As one of the key equipment in the power system, the operation status of power transformers directly affects the stability and reliability of the entire power grid. The traditional transformer maintenance method mainly relies on regular preventive maintenance. Although this method can ensure the normal operation of equipment to a certain extent, it has obvious shortcomings. In response to this, this article first provides an overview of the state maintenance technology for power transformers, then elaborates on the importance of intelligent application of this technology, and proposes targeted optimization strategies for the relevant problems encountered in intelligent application. We hope that the implementation and implementation of these strategies can provide assistance for the development of power enterprises.

**Keywords：** power transformer; condition based maintenance technology; intelligent application

## 引言

随着科技的不断进步，电力变压器状态检修技术正逐步向智能化方向发展。智能化技术的应用不仅能够提高检修的效率和准确性，还能有效降低运维成本，延长设备的使用寿命。当前，基于大数据分析、物联网、云计算和人工智能等技术的智能诊断系统已经在电力变压器的状态检修中得到了应用。这些系统能够实时监测变压器的运行状态，通过分析历史数据和实时数据，预测潜在的故障和风险，从而实现精准的维护和检修。然而智能化技术的应用也面临着诸多挑战。如何将智能化技术与现有的检修流程和标准有效融合，是推动智能化检修技术发展的重要课题。

## 一、电力变压器状态检修技术概述

### （一）状态检修的定义与原理

状态检修是一种以设备的实际运行状态为基础，通过实时监测、诊断和预测设备健康状况，合理安排检修时间和内容的维护策略。与传统的定期检修相比，状态检修更加注重设备的实际运行状况，旨在提高设备运行的可靠性和经济性，减少不必要的检修工作量，降低维护成本。状态检修的原理基于对设备运行状态的连续或定期监测，通过分析监测数据来评估设备的健康状况。这些监测数据包括但不限于温度、振动、声音、绝缘特性、油质分析等。通过这些数据的分析，可以及时发现设备潜在的故障和性能退化，从而在问题发展到严重程度之前进行干预。

### （二）状态检修与定期检修的比较

状态检修与定期检修是当前工作人员进行电力变压器维护时所采用的两种主要策略，它们在实施方式、成本效益和可靠性方面存在显著差异。其中状态检修一般也被称为预知性维护，往往依赖于对变压器运行状态的实时监控和分析。在工作人员的操作中是通过安装传感器和使用先进的诊断技术来进行的，状态检修能够及时发现设备的微小异常和潜在故障。相比之下定期检修是一种更为传统的维护策略，它依据固定的时间表对变压器进行检查和维护，不论设备的实际运行状况如何。这种策略的优点在于简单易行，容易规划和管理<sup>[1]</sup>。

### （三）电力变压器状态检修技术的发展趋势

在不远的将来，电力变压器状态检修技术的发展趋势将会变

作者简介：王达（1982.03-），男，汉族，辽宁铁岭市人，大专，助理工程师，研究方向：变压器检修。

得更加注重智能化和预测性维护。这是因为随着物联网技术的不断进步，会使得变压器的状态监测将更加实时和全面。其中传感器网络将被广泛部署在变压器的关键部位，用于实时收集温度、振动、油质等关键参数，并通过无线网络传输至中央监控系统。而人工智能和大数据分析技术的应用将使这些数据转化为有价值的洞察。通过机器学习算法，系统能够识别出设备运行中的异常模式，并预测潜在的故障。这种预测性维护不仅能够提前发现隐患，避免突发性故障，还能优化维护计划，减少不必要的检修，从而降低运维成本<sup>[2]</sup>。

## 二、电力变压器状态检修技术智能化应用的重要性

### （一）提高电力系统运行可靠性与安全性

作为电力系统中关键的设备，电力变压器运行状态直接关系到整个电网的稳定性和供电的可靠性。而在当前的电力变压器的运维当中，状态检修技术智能化的应用，能够实时监测变压器的运行参数，如温度、压力、振动等参数可以通过先进的数据分析和故障诊断技术，及时发现潜在的故障和性能退化。智能化系统可以对收集到的数据进行深入分析，预测设备可能出现的问题，并制定相应的维护计划，从而避免突发性故障的发生，减少停电时间，提高电力系统的运行可靠性与安全性。

### （二）降低维护成本与延长变压器使用寿命

电力变压器状态检修技术的智能化应用对于降低维护成本与延长变压器使用寿命具有重要意义。在以往传统的变压器检修过程中，工作人员往往依赖于定期的预防性维护，这不仅需要大量的人力和物力，而且往往无法准确判断设备的实际状态，导致过度维护或维护不足的问题。而智能化技术的应用，如在线监测系统，可以实时收集变压器的运行数据，包括温度、振动、油中溶解气体分析等关键指标，通过大数据分析和人工智能算法对变压器的健康状况进行精确评估<sup>[3]</sup>。

### （三）实现精准故障预测与快速响应

近些年来企业对电力系统可靠性和效率要求的不断提高之下，使得当前电力变压器状态检修技术的智能化应用变得尤为重要。在实际的应用中，智能化技术能够帮助企业实现对变压器运行状态的实时监控和分析，从而提前发现潜在问题来减少突发故障的发生。其中实现精准故障预测与快速响应是智能化检修技术的核心优势之一。企业可以通过安装在变压器上的各种传感器实时收集温度、振动、油中溶解气体等关键数据。接下来将这些数据通过高速通信网络传输至中央监控系统，并利用大数据分析和人工智能算法对变压器的健康状况进行持续评估。智能化系统能够识别出数据中的异常模式，预测可能发生的故障，并给出相应的预警信息<sup>[4]</sup>。

### （四）促进电力资源优化配置与节能减排

电力变压器状态检修技术的智能化应用对于促进电力资源的优化配置与节能减排具有重要意义。具体而言，在电力变压器的应用中，智能化状态检修技术能够实时监测变压器的运行状态，并通过分析数据来帮助工作人员预测设备可能出现的故障，从而

提前进行维护避免因突发故障导致的电力中断和资源浪费。例如通过安装在变压器上的传感器，工作人员就可以实时监测温度、振动、油质等关键参数，一旦发现异常，系统会自动发出警报，并提供维护建议<sup>[5]</sup>。

## 三、电力变压器状态检修技术智能化应用中的难点

### （一）数据采集与处理的复杂性

在近些年来电力变压器状态检修技术的广泛应用之下，电力系统的运行效率和可靠性得到了显著提升。然而随着技术的不断进步，电力变压器状态检修技术的智能化应用难点也逐渐显现。其中数据采集与处理的复杂性是当前面临的主要挑战之一。这是因为在当前的企业的应用中，电力变压器在运行过程中会产生大量的数据，这些包括温度、振动、油中溶解气体、局部放电等多种监测参数不仅量大，而且类型多样往往需要通过先进的传感器和采集设备进行实时监控。然而，由于电力系统的复杂性，数据采集过程中可能会受到电磁干扰、设备老化、环境变化等因素的影响，导致数据的准确性和完整性难以保证<sup>[6]</sup>。

### （二）智能诊断算法的准确性和可靠性问题

随着电力系统对可靠性和效率要求的不断提高，电力变压器状态检修技术的智能化应用变得尤为重要。然而研究人员发现在这一过程中，智能诊断算法的准确性和可靠性问题成为了一个关键的难点。这是因为智能诊断算法在实际的应用中，往往需要能够准确识别和预测变压器可能出现的故障，但现实的情况，算法往往面临着数据质量、模型泛化能力以及环境干扰等多方面的挑战。其中数据质量的好坏往往会直接影响诊断算法的准确性。电力变压器在运行过程中产生的数据量巨大，但数据的噪声、缺失和异常值等问题可能会导致算法性能下降。因此，如何有效地进行数据清洗、预处理和特征提取，是提高智能诊断算法准确性的关键步骤<sup>[7]</sup>。

### （三）现场环境适应性与设备兼容性挑战

电力变压器状态检修技术智能化应用中的难点之一是现场环境适应性与设备兼容性挑战。这一问题产生的原因往往是由于电力变压器通常安装在户外或变电站内，使得设备的作业环境条件复杂多变，其中包括温度、湿度、电磁干扰、灰尘等因素都可能对智能化设备的正常运行造成影响。比如在在高温环境下的设备运行过程中，设备的散热性能可能会下降进而导致传感器或数据处理单元过热，影响数据的准确性和设备的稳定性。此外强电磁干扰可能会对无线通信模块造成干扰，影响数据传输的可靠性。

### （四）维护人员技能与智能化系统整合的难题

人为因素在电力变压器状态检修技术智能化应用时，也占很大的比例。尽管智能化系统可以自动监测和分析数据，但维护人员的技能和经验仍然是确保系统正常运行和准确判断变压器状态的关键因素。一方面是因为维护人员需要掌握智能化系统的操作和维护技能，以便在出现问题时能够迅速解决。而在另一方面，往往是因为智能化系统提供数据和分析结果需要维护人员进行解读和判断，以制定合适的检修计划。然而，现实情况中，维护人



员的技能和智能化系统的整合常常面临挑战。部分维护人员可能对智能化系统的操作不够熟练，或者对系统提供的数据解读不够准确，这可能导致误判或漏判，进而影响变压器的正常运行和安全性。

#### 四、电力变压器状态检修技术智能化应用的优化策略

##### （一）采用先进的传感器和数据采集设备

针对于当前的企业而言，管理层为了实现电力变压器状态检修技术的智能化应用，就重点需要采用先进的传感器和数据采集设备。在企业的具体实施过程中，这些设备要能够实时监测变压器的运行状态，包括温度、压力、振动、油中溶解气体等关键参数。同时还需要通过使用高精度、高稳定性的传感器来确保数据的准确性和可靠性，为后续的数据分析和故障预测提供坚实的基础<sup>[8]</sup>。

##### （二）结合机器学习和深度学习技术

随着近些年来电力系统对可靠性和效率要求的不断提高，使得电力变压器状态检修技术的智能化应用显得尤为重要。在这一背景下，企业为了进一步优化这一技术，采用的结合机器学习和深度学习技术成为了一种有效的策略。在具体的实施过程中，企业可以通过这些先进的数据分析方法，对变压器的运行状态进行更精确的监测和预测，从而帮助自身实现更高效的维护和故障预防。在具体的实施过程中，机器学习算法可以帮助工作人员处理和分析来自变压器的大量历史数据和实时数据。通过算法分析可以识别出设备的正常运行模式和潜在的异常模式<sup>[9]</sup>。

##### （三）设计和制造适应各种恶劣环境的传感器和采集设备

针对于现场作业环境对于设备的影响这一问题，电力变压器状态检修技术智能化应用的优化策略显得尤为重要。电力变压器在恶劣的现场作业环境中，往往会面临着高温、高湿、强振动、腐蚀性气体等多种不利因素的挑战。这些因素不仅会加速设备老化，还可能导致设备故障，影响电网的稳定运行。所以相关部门

为了应对这些挑战，设计和制造适应各种恶劣环境的传感器和采集设备是至关重要的。例如采用耐高温、耐腐蚀的材料来制造传感器外壳，确保其在极端温度和化学腐蚀环境中仍能正常工作。同时传感器的设计应具备良好的密封性能，防止湿气和灰尘的侵入，保证数据采集的准确性<sup>[10]</sup>。

##### （四）加强对维护人员的培训

为了确保电力变压器状态检修技术智能化应用的有效实施，相关部门加强对维护人员的培训是至关重要的。在这一策略的实施过程中，企业应定期组织专业培训课程，课程中应涵盖智能化技术的最新发展、智能诊断系统的操作方法、数据分析和故障预测等关键内容。企业员工就可以通过这些培训掌握智能化工具的使用，从而提高对变压器状态的准确判断能力。其次对于企业而言，开展的内部培训内容应包括理论与实践相结合的教学方法。除了课堂讲授还应安排现场实操环节，让维护人员在实际工作中应用所学知识，通过模拟故障和实际案例分析，提高解决实际问题的能力。同时企业为了确保培训效果，还应建立一套完善的考核机制。通过定期的技能考核和评估，检验维护人员的学习成果和实际操作能力。对于考核成绩优异的员工，给予相应的奖励和晋升机会，激发员工的学习热情和工作积极性。对于考核不达标的员工，则应提供额外的辅导和再培训机会，确保每位员工都能达到岗位要求。

#### 五、结语

综上所述，电力变压器状态检修技术的智能化应用是一个复杂而多维的课题，涉及技术、环境、人员等多方面因素。通过采用先进的传感器和数据采集设备、结合机器学习和深度学习技术、设计适应恶劣环境的设备以及加强对维护人员的培训，可以显著提升智能诊断的准确性和效率。未来，随着技术的不断进步和应用的深入，电力变压器的智能化状态检修将更加成熟，为保障电网安全稳定运行提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1] 赵志新, 赵宗罗, 赵颖, 等. 基于并行化 BP 神经网络的配电变压器故障快速诊断方法 [J]. 浙江电力, 2021, 40(12): 82-88. DOI: 10.19585/j.zjdl.202112011.
- [2] 姚曙, 杨娟, 宋金德. 电力变压器的故障诊断与检修方法研究 [J]. 无线互联科技, 2021, 18(15): 66-67.
- [3] 王晓辉, 李琳. 电力变压器状态检修技术研究及应用 [J]. 山东工业技术, 2015, (20): 153. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2015.20.139.
- [4] 马越江. 电力变压器状态检修技术的应用分析 [J]. 电子测试, 2016, (21): 122+120. DOI: 10.16520/j.cnki.1000-8519.2016.21.062.
- [5] 郝小阳. 电力变压器状态检修技术探讨 [J]. 低碳世界, 2016, (32): 71-72. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2016.32.048.
- [6] 常智远. 电力变压器状态检修及故障诊断解决策略 [J]. 中国新通信, 2017, 19(24): 123-124.
- [7] 刘云鹏, 许自强, 李刚, 等. 人工智能驱动的数据分析技术在电力变压器状态检修中的应用综述 [J]. 高电压技术, 2019, 45(02): 337-348. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20190130001.
- [8] 董善滨. 电力变压器状态检修技术及应用研究 [J]. 无线互联科技, 2019, 16(16): 145-146.
- [9] 姚曙, 杨娟, 宋金德. 电力变压器的故障诊断与检修方法研究 [J]. 无线互联科技, 2021, 18(15): 66-67.
- [10] 赵志新, 赵宗罗, 赵颖, 等. 基于并行化 BP 神经网络的配电变压器故障快速诊断方法 [J]. 浙江电力, 2021, 40(12): 82-88. DOI: 10.19585/j.zjdl.202112011.



# 智能电网背景下电气设备的运维与管理

李全成

中交华中投资有限公司, 湖北 武汉 430056

**摘 要：** 智能电网的快速发展, 致使电气设备的运维与管理也面临着新的挑战和机遇。而本文主要详细阐述了智能电网背景下电气设备运维与管理的重要性, 且在分析智能电网对电气设备影响的基础上, 探讨了电气设备运维与管理的现状及存在的问题。针对相关问题提出了智能电网背景下电气设备运维与管理的优化策略。

**关 键 词：** 智能电网; 电气设备; 运维; 管理

## Operation and Maintenance of Electrical Equipment in the Context Of Smart Grids

Li Quancheng

China Communication Central ChinaInvestment Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430056

**Abstract：** The rapid development of smart grids has led to new challenges and opportunities for the operation and management of electrical equipment. This paper mainly elaborates on the importance of electrical equipment maintenance and management in the context of smart grids, and analyzes the impact of smart grids on electrical equipment before exploring the current status and existing problems of electrical equipment maintenance and management. Based on these issues, this paper proposes optimization strategies for electrical equipment maintenance and management in the context of smart grids.

**Keywords：** smart grid; electrical equipment; operation and maintenance; management

## 引言

智能电网作为未来电力系统的发展方向, 其具有高效、可靠、灵活、环保等特点。而在智能电网中, 电气设备则是实现电力传输、分配和转换的关键环节, 其运行状态直接影响着电网的安全稳定运行。因此在智能电网背景下, 相关人员加强电气设备的运维与管理, 并提高其可靠性和运行效率, 对于保障智能电网的安全稳定运行具有重要意义。

## 一、智能电网背景下电气设备运维与管理的重要性

### (一) 保障电网安全稳定运行

电气设备是智能电网的重要组成部分, 其运行状态直接关系到电网的安全稳定运行。相关人员通过加强电气设备的运维与管理, 即可及时地发现和及时处理设备故障, 以此避免因设备故障引发电网事故, 与保障电网的安全稳定运行。

### (二) 提高设备可靠性和运行效率

智能电网对电气设备的可靠性和运行效率提出了更高的要求。其需要采用先进的运维与管理技术, 来实现对电气设备的实时监测和诊断, 以确保及时地发现设备潜在的故障隐患, 并采取有效的维护措施, 进而提高设备的可靠性和运行效率。

### (三) 降低运维成本

传统的电气设备运维与管理模式主要依靠人工巡检和定期检修, 但这种模式不仅效率低下, 而且成本较高。而在智能电网背

景下, 相关人员采用智能化的运维与管理技术, 即可实现对电气设备的远程监测和诊断, 从而减少人工巡检的工作量, 并降低运维成本。

### (四) 适应智能电网发展需求

智能电网的发展需要先进的电气设备运维与管理技术作为支撑。为此相关人员需加强电气设备的运维与管理, 以提高设备的智能化水平, 以及适应智能电网的发展需求, 最终为智能电网的建设和发展提供有力保障。

## 二、智能电网对电气设备的影响

### (一) 设备智能化水平提高

智能电网要求电气设备具备智能化的功能, 如远程监测、诊断、控制等。而为了满足智能电网的需求, 电气设备制造商需不断地提高设备的智能化水平, 推出一系列智能化的电气设备, 如

作者简介: 李全成 (1984.01—), 男, 汉族, 江苏省新沂市人, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 新能源行业投资建设运营。

智能变压器、智能断路器、智能开关柜等。

### （二）设备运行环境更加复杂

智能电网中的电气设备需要在更加复杂的运行环境下工作，如高电压、大电流、强磁场等<sup>[1]</sup>。同时智能电网中的电气设备还需要与其他智能设备进行通信和协调控制，而这就对设备的抗干扰能力和可靠性提出了更高的要求。

### （三）设备维护难度加大

智能电网中的电气设备具有高度的集成化和智能化特点，其维护难度相对较大。传统的维护方法和技术已经无法满足智能电网对电气设备维护的要求，需要采用更加先进的维护技术和方法，如状态检修、智能化监测与诊断等。

### （四）设备管理模式变革

智能电网要求能够实现对电气设备的全生命周期管理，当中包括设备的设计、制造、安装、运行、维护、退役等环节。但这需要变革传统的设备管理模式，建立起一套科学、规范、高效的设备全生命周期管理体系。

## 三、智能电网背景下电气设备运维与管理的现状及存在的问题

### （一）现状

#### 1. 智能化监测技术逐渐应用

目前随着智能电网的发展，智能化监测技术在电气设备运维与管理中的应用越来越广泛。相关人员通过安装传感器和监测设备，能实现对电气设备的实时监测和诊断，及时地发现设备运行过程中潜在的故障隐患。

#### 2. 状态检修模式逐步推广

状态检修是一种基于设备状态监测和诊断的检修模式，它主要根据设备的实际运行状态来确定检修时间和检修内容，因而避免了传统定期检修的盲目性和浪费<sup>[2]</sup>。当前在智能电网背景下，状态检修模式得到了逐步推广和应用。

#### 3. 人员素质不断提高

为了适应智能电网对电气设备运维与管理的要求，电力企业在实践中不断地加强对运维人员的培训和教育，从而提高了其专业素质和技能水平。同时电力企业还引进了一批高素质的专业技术人才，进而为智能电网的建设和发展提供了有力的人才支持<sup>[3]</sup>。

### （二）存在的问题

#### 1. 智能化监测技术有待进一步完善

虽然智能化监测技术在电气设备运维与管理中的应用越来越广泛，但是目前的智能化监测技术还存在一些不足之处，如监测精度不高、可靠性不强、数据处理能力有限等。实践中这些问题制约了智能化监测技术在电气设备运维与管理中的应用效果。

#### 2. 状态检修模式尚未全面普及

尽管状态检修模式在智能电网背景下得到了逐步推广和应用，但是目前状态检修模式尚未全面普及。因此一些电力企业仍然采用传统的定期检修模式，而这种模式不仅效率低下，而且成

本较高<sup>[4]</sup>。

#### 3. 运维管理信息化水平不高

目前电气设备运维管理信息化水平还不高，其缺乏统一的信息管理平台。所以其工作过程中各部门之间信息沟通不畅，且数据共享困难，进而导致运维管理效率低下。

#### 4. 人员素质有待进一步提高

现阶段电力企业已在不断地加强对运维人员的培训和教育，提高其专业素质和技能水平，但是目前运维人员的素质仍然有待进一步提高。具体来说，一些运维人员缺乏对智能电网和智能化设备的了解和认识，其无法熟练掌握智能化监测与诊断技术和状态检修技术。

## 四、智能电网背景下电气设备运维与管理的优化策略

### （一）智能化监测与诊断

#### 1. 提高监测精度和可靠性

技术的不断进步和创新表明相关企业须采纳那些尖端的传感器技术以及高效的监测设备，以显著地提升监测和诊断系统的性能<sup>[5]</sup>。其中这些先进的设备不仅能提供更高的监测精度，而且还能保证数据的可靠性和准确性，进而确保所有关键信息都能够被准确无误地采集和分析。

#### 2. 实现远程监测和诊断

相关企业借助物联网（IoT）、云计算等前沿技术，即可构建起一个全面的远程监测网络，此时电气设备的状态变化就可以无缝地传递到运维人员手中。而通过智能手机、平板电脑等移动终端，运维人员也可以随时随地访问设备的运行数据，并且对可能出现的故障进行早期预警<sup>[6]</sup>。

#### 3. 智能化的监测与诊断系统

该系统不只是简单地收集监测数据，它实际上还具备强大的分析能力和处理功能。展开而言，通过先进算法的运用智能化监测系统能够对设备的实时运行状态进行深入的分析，从而自动地识别潜在的故障模式。一旦发现异常情况，该系统会立即发出警报，并根据预设的诊断规则给出相应的维修或更换建议。如此就能减轻运维人员的工作负担，并且提高故障处理的及时性和有效性，最终确保电气设备的稳定运行和长期效能<sup>[7]</sup>。

### （二）预防性维护

#### 1. 制定科学的维护计划

相关企业应根据电气设备的实际运行情况和历史维护记录，制定出科学的维护计划。此维护计划应包括维护时间、维护内容、维护方法等方面的内容，才能确保维护工作的针对性和有效性。

#### 2. 加强设备巡检和保养

加强对电气设备的巡检和保养，以保证能够及时地发现和处理设备潜在的故障隐患。而巡检和保养工作应涵盖设备的外观检查、电气参数测量、机械部件检查等方面的内容。

#### 3. 采用先进的维护技术和方法

目前可供相关企业采用的先进维护技术和方法有在线监测、

带电检测、局部放电检测等。同时其还需加强对维护技术和方法的研究和应用，不断地创新维护技术和方法<sup>[8]</sup>。

（三）状态检修

1.构建高效、全面的电气设备状态监测体系

现代工业生产当中，电气设备扮演着至关重要的角色，它们为生产线提供动力和支持的同时，也对环境条件有一定要求。因此企业须建立一个全面、高效的状态监测体系，以此对电气设备进行多维度的监测。

多维度的监测应包括电气参数的检测、机械参数的监测以及环境参数的监测。展开来说，电气参数监测可以评估设备的电压、电流等参数是否符合设计标准；而机械参数监测则关注设备在运行过程中的机械结构是否稳定，以及是否存在异常震动或噪声；环境参数监测则考虑到了温度、湿度、灰尘等方面对设备的影响。通过上述综合性的监测方法，企业能够全方位地了解设备的运行状态，及时地发现问题并采取措施。

2.确定合理的状态评价指标

确定一个合理的状态评价指标是评价电气设备运行状态的基础。而这一指标应该能够反映出设备的可靠性、安全性和经济性等多方面的特性。例如可靠性指标可以用来衡量设备在规定时间内完成预定任务的能力，而安全性指标应评估设备在运行中避免事故的能力，经济性指标则主要考察设备运行成本与收益之间的关系<sup>[9]</sup>。

3.制定科学的检修策略

根据状态评价指标的结果，相关人员还需要制定相应的检修策略。但是该策略应当基于设备当前的状态和历史数据，并结合实际情况灵活调整。

一般情况下，检修策略需涵盖检修的时间、范围、所需材料和方法等要素。具体来说，如果某台设备显示出高故障率，就可能需要缩短检修时间，并增加检修频次。而如果某些部件出现损坏，则应及时更换，以此避免故障的扩大。此外检修方法也需要相关人员根据具体情况选择合适的检修技术，如在线监测、离线

诊断或是直接更换损坏部件等，如此才能保证检修工作的准确性和高效性。

（四）人员培训与技术创新

1.提升运维人员的专业技能

为了确保电力系统的稳定运行，企业必须对从事运维工作的人员实施全面而深入的培训。借助该过程，企业必须显著地提高他们的专业素质以及操作和维护智能化设备的能力。据此培训内容应当覆盖智能电网的基础知识、最新技术动态、智能化设备的实际操作与维护技巧、状态检修的先进技术等多个层面。同时培训还应具备实际案例分析，以此增强员工的实操经验<sup>[10]</sup>。

在培训结束后，企业能否建立一个健全的培训考核机制也至关重要，因为它能确保培训内容得到有效执行，并且最终转化为员工技能水平的提升。

2.推动技术创新

企业想促进电气设备运维管理领域技术的持续发展，就应积极鼓励和支持运维人员进行技术创新。而创新不仅能够推动行业的技术进步，而且还能为企业带来新的增长点。针对于此，企业需要建立一个完善的技术创新激励机制，而该机制应包含奖励措施。借助该机制对于在技术创新上取得显著成果的人员给予表彰与奖励，进而激发运维人员不断探索和实践新技术、新方法，最终确保电力系统的高效和可靠。

五、结语

基于智能电网背景而言，电气设备的运维与管理面临着新的挑战 and 机遇。而相关企业通过加强智能化监测与诊断、预防性维护、状态检修、人员培训与技术创新等方面的工作，即可有效地提高电气设备的可靠性和运行效率，与降低运维成本，以及适应智能电网的发展需求。相信随着智能电网的不断发展，电气设备的运维与管理将更加智能化、科学高效、绿色环保，最终为智能电网的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

[1] 薛宇航. 基于工作流的电气自动化设备管理系统的设计与实现研究 [ J ]. 计算机产品与流通, 2020, 9(02): 66-66.

[2] 张鹏, 李星, 陈光俊, 等. 变电运维一体化智能仓储管理设备的设计与应用 [ J ]. 电工技术, 2020, (05): 50-52.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2020.05.018.

[3] 万鹏. 电网公司输电运维智能移动作业系统的设计与实现 [ D ]. 四川省: 电子科技大学, 2021.DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2021.004748.

[4] 麦金龙, 王志银, 廖泽浩. 基于智能穿戴设备的配电网运维作业效率控制方法 [ J ]. 自动化与仪器仪表, 2021, (05): 184-188.DOI: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.05.184.

[5] 李锦华, 纪小周. 大数据背景下风光储混合电网信息管理系统的设计与研发 [ J ]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(09): 80-81.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.09.34.

[6] 罗航, 许湛扬, 邢雅萍. 智能电网配电自动化运维技术与管理策略研究 [ J ]. 消费电子, 2022, (09): 81-83.

[7] 张国伟. 基于网格管理的农村智能配电网自动化运维技术 [ J ]. 自动化应用, 2023, 64(20): 70-71+80.

[8] 陈林峰. 试析电力设备运维管理及安全维护策略 [ J ]. 中国设备工程, 2023, (06): 58-60.

[9] 项新建, 姚佳娜, 郑永平, 等. 新工科背景下智能建筑实验室建设与管理 [ J ]. 实验室研究与探索, 2021, 40(12): 262-266.DOI: 10.19927/j.cnki.syyt.2021.12.056.

[10] 李旭斌, 田付强, 郭亦可. 新型电力系统中电力设备健康管理 with 智能运维关键技术探究 [ J ]. 电网技术, 2023, 47(09): 3710-3726.DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2022.2451.

# 基于大数据分析的火电厂设备故障智能诊断与预测研究

王媛

国家能源（山东）工程技术有限公司，山东 济南 250100

**摘 要：** 本文聚焦于大数据分析在火电厂设备故障智能诊断与预测方面的应用，深入地探讨了其相关理论、技术以及实践策略。首先通过对火电厂设备运行特点、故障类型及影响因素进行了剖析，接着阐述了大数据分析如何助力精准的故障诊断与有效的预测。希望经过本次研究能够提高火电厂设备运行的可靠性、安全性以及经济性，并减少因设备故障带来的损失，最终为火电厂的稳定高效运营提供有力支持。

**关 键 词：** 大数据分析；火电厂设备；故障诊断；故障预测

## Research on Intelligent Diagnosis and Prediction of Equipment Faults in Thermal Power Plants Based on Big Data Analysis

Wang Yuan

China Energy (Shandong) Engineering Technology Co., Ltd. Jinan, Shandong 250100

**Abstract：** This article focuses on the application of big data analytics in intelligent diagnosis and prediction of equipment failures in thermal power plants, deeply exploring related theories, technologies, and practical strategies. Firstly, it analyzes the operating characteristics, failure types, and influencing factors of thermal power plant equipment. Then it explains how big data analytics can assist in precise fault diagnosis and effective prediction. It is hoped that this study can improve the reliability, safety, and economy of thermal power plant equipment operation, reduce losses caused by equipment failures, and ultimately provide strong support for the stable and efficient operation of thermal power plants.

**Keywords：** big data analytics; thermal power plant equipment; fault diagnosis; fault prediction

### 引言

现阶段随着现代工业的飞速发展，火电厂作为重要的能源供应单位，其设备的稳定运行对于保障电力供应起着至关重要的作用。然而火电厂设备复杂多样且运行环境恶劣，所以运行过程中极易出现各类故障。并且传统的故障诊断与预测方法往往存在局限性，其难以满足高效精准的需求。此时大数据分析技术的兴起，则为火电厂设备故障的智能诊断与预测带来了新的机遇和解决方案。相关人员借助大数据分析，可以挖掘设备运行数据中的潜在规律，以确保提前发现故障隐患，进而实现精准诊断，并优化设备维护策略，提升火电厂整体运营水平。

### 一、火电厂设备概述

#### （一）火电厂主要设备构成

火电厂的设备系统繁多，其主要包括锅炉、汽轮机、发电机等核心设备，以及与之配套的各类辅机设备，如给水泵、引风机、磨煤机等。展开来说，锅炉负责将燃料转化为热能，其可产生高温高压蒸汽；汽轮机则利用蒸汽的能量进行旋转做功，然后带动发电机发电；而辅机设备为核心设备的正常运行提供必要的支持，如给水泵保障锅炉的供水，引风机维持锅炉内的通风等。上述这些设备相互协作、相互关联，一同构成了一个复杂且庞大的生产系统。

#### （二）设备运行特点与环境

火电厂设备通常处于高温、高压、高负荷的运行状态，由于其长期连续运转，所以设备的磨损、腐蚀等情况较为严重。同时运行环境中存在粉尘、高温、湿度变化等因素，均会对设备的性能和寿命产生影响。例如锅炉内的受热面长期受到高温烟气的冲

刷，因此容易出现管壁磨损、结垢等问题。而汽轮机在高速旋转过程中，其叶片承受着巨大的离心力和蒸汽的冲刷力，从而容易产生裂纹等故障隐患。

#### （三）常见设备故障类型及影响

##### 1. 机械故障

机械故障有轴承磨损、轴系不对中、部件松动等情况，而这类故障会导致设备振动加剧、噪音增大，进而影响设备的正常运行，严重时甚至会造成设备停机。

##### 2. 热故障

热故障包括受热面超温、冷却系统故障等，其在锅炉等设备中较为常见。当受热面超温时会使管材的强度下降，因而容易引发爆管事故，进一步会影响整个发电系统的稳定运行，造成发电量下降，甚至还会危及人员安全<sup>[1]</sup>。

##### 3. 电气故障

像发电机绕组短路、绝缘损坏等被称为电气故障，其会导致

作者简介：王媛（1991.08—），女，汉族，山东聊城人，大学，助理工程师，研究方向：火力发电厂运行及自动化。



发电效率降低、电能质量下降。情况严重的电气故障还可能引发停电事故，其会对电网的稳定供电产生重大冲击。

## 二、大数据分析基础理论与技术

### （一）大数据的概念与特点

大数据是指数据量巨大、类型多样、处理速度快且价值密度低的数据集合。火电厂设备运行过程中会产生海量的数据，如设备运行参数（温度、压力、流量等）、故障记录、维护记录等，而这些数据具备大数据的典型特征。其中在数据量方面，随着监测设备的不断完善，每分钟甚至每秒都会产生大量的数据；类型方面则既有数值型数据，也有文本、图像等非数值型数据；而对于实时性要求较高的故障诊断与预测来说，其需要快速处理这些数据来提取有价值的信息。

### （二）常用大数据分析技术

#### 1. 数据挖掘技术

数据挖掘技术即通过关联规则挖掘、聚类分析、分类算法等方法，从海量的设备运行数据中发现潜在的模式和规律。例如利用关联规则挖掘，即可找出哪些设备运行参数的变化与特定故障之间存在关联，以此为故障诊断提供依据。而聚类分析则可以将设备的运行状态根据相似性进行分类，此时将有助于识别异常状态。

#### 2. 机器学习技术

机器学习技术包括监督学习（如支持向量机、决策树等）、无监督学习（如主成分分析、自编码器等）以及深度学习（如卷积神经网络、循环神经网络等）。其中监督学习可以根据已知的故障样本数据进行模型训练，以实现故障的分类和预测；无监督学习主要用于对数据进行降维和特征提取，其可挖掘隐藏在数据中的结构；深度学习则在处理复杂的非线性关系数据方面具有优势，其能够更精准地对设备故障进行诊断和预测。

#### 3. 大数据可视化技术

大数据可视化技术原就是将复杂的数据以直观的图表、图形等形式展示出来，如此便于运维人员理解和分析数据。例如通过绘制设备运行参数随时间变化的曲线，相关人员可能清晰地看到参数的波动情况，并及时地发现异常变化，以此可辅助其判断设备是否存在故障隐患。

## 三、大数据分析在火电厂设备故障智能诊断中的应用

### （一）数据采集与预处理

#### 1. 数据采集渠道

从火电厂的分布式控制系统（DCS）、监控与数据采集系统（SCADA）以及各类传感器等多个渠道采集设备运行数据，能够有效地确保数据的全面性和准确性。而这些传感器应分布在设备的关键部位，才能实时监测温度、压力、振动等参数。

#### 2. 数据预处理方法

对采集到的数据进行清洗，并去除噪声数据、重复数据以及错误数据，以此保证数据的质量。同时还需进行数据归一化处

理，即将不同量级的参数数据转化到同一尺度范围内，便于相关人员进行后续的数据分析和模型训练。例如温度数据可能在几十度到几百度的范围，而压力数据可能在几个大气压到几十个大气压范围，对其进行归一化使其在  $[0, 1]$  区间内，就更加方便相关人员进行运算和比较。

### （二）故障特征提取与选择

相关人员运用数据挖掘和机器学习技术，可从预处理后的海量数据中提取与设备故障相关的特征。而这些特征可以是设备运行参数的变化率、峰值、均值等统计特征，同时也可以是不同参数之间的相关性特征。然后相关人员再通过特征选择算法，筛选出对故障诊断最有价值的特征，以此可降低数据维度，与提高诊断模型的效率和准确性。比如在诊断汽轮机叶片故障时，相关人员可选取叶片振动频率的变化特征、蒸汽流量与转速的相关性特征等作为关键特征输入诊断模型<sup>[9]</sup>。

### （三）故障诊断模型构建与应用

#### 1. 基于机器学习的诊断模型

借助监督学习算法构建故障诊断模型，将提取并选择好的特征作为输入，而对应的故障类别作为输出进行模型训练。以支持向量机模型为例，相关人员需根据已有的大量故障样本数据进行训练，要使其能够根据输入的实时设备特征，准确地判断是否存在故障以及故障类型。基于此再通过不断优化模型的参数和结构，可提高诊断的准确率和泛化能力，并将其应用到实际的火电厂设备故障诊断中。具体来说，当设备运行时，将实时采集的数据经过处理输入模型，即帮助相关人员可快速得到故障诊断结果。

#### 2. 融合多模型的诊断策略

实践中考虑到单一模型可能存在的局限性，相关人员可采用多模型融合的策略。如将决策树与神经网络模型融合，即可发挥决策树模型解释性强和神经网络模型非线性拟合能力强的优势，从而综合地判断设备故障情况，达到进一步提高诊断可靠性和精准度的目的。

## 四、大数据分析在火电厂设备故障预测中的应用

### （一）基于时间序列分析的预测方法

基于时间序列分析的预测方法原理是对设备运行参数的历史时间序列数据进行分析，借助利用自回归移动平均模型（ARMA）、差分自回归移动平均模型（ARIMA）等方法，来挖掘参数随时间变化的规律，以此预测未来一段时间内参数的走势。如通过分析锅炉蒸汽压力的历史数据，相关人员可建立ARIMA模型，用于预测未来几小时甚至几天内蒸汽压力的变化情况。若预测值超出正常范围，则提示可能存在故障隐患，其就需提前做好预防措施。

### （二）基于机器学习的预测模型

基于机器学习的预测模型主要运用的是机器学习中的回归算法，如线性回归、随机森林回归等，以设备的历史运行数据以及对应的故障发生情况为依据，建立故障预测模型。此时相关人员将设备运行的多个参数作为输入变量，而故障发生的时间、概率等作为输出变量进行模型训练。

### （三）预测结果评估与优化

通过对比实际发生的故障情况与预测结果，相关人员可采用均方误差（MSE）、平均绝对误差（MAE）等评估指标来衡量预测模型的准确性。接着再根据评估结果对预测模型进行优化调整，以此不断地提高预测的精度和可靠性。如若发现某一预测模型的 MSE 较大，那么就说明预测结果与实际偏差较大，则分析原因“可能是特征选择不合理或者模型参数不合适等”，以此为入手点对模型进行改进<sup>[3]</sup>。

## 五、大数据分析应用面临的挑战与对策

### （一）数据质量问题

#### 1. 问题表现

设备的运行数据是现代火力发电厂安全、高效和经济运行的关键信息，但实际上这些数据并非总是能够准确反映出真实的情况。由于数据来源复杂多样，且数据质量良莠不齐，就导致了数据分析时存在不少问题。首先因为传感器老化或故障，会导致数据缺失的现象时有发生；其次码或传输错误同样困扰着大数据分析；再者噪声数据的存在则会干扰正常的的数据流，从而影响分析的有效性。

特别是在火电厂这样的大型工业环境中，因为其设备数量众多且分布广泛，加之运行条件的复杂性，则增加了数据收集和处理的难度。而数据的质量直接关系到决策的正确性，因此确保数据的准确性和可靠性对于整个电厂的运营管理来说至关重要。此外就数据传输方面来说，如果数据传输网络受到干扰或者遭遇物理损坏，其也可能导致数据丢失，进而对电厂的实时监控和控制带来重大影响。

#### 2. 解决对策

为了确保数据采集过程的可靠性，相关人员必须对数据采集设备进行严格的维护和管理。此过程包括但不限于定期对传感器和其他关键组件进行精确校准，以及适时更换老化或损坏的部件。

进一步地，其还需要建立一套完善的数据校验机制，来确保每一次数据的准确性和完整性。其中在整个数据采集和传输的过程中，应确保系统可实时监测并验证数据是否符合预期值。一旦发现任何异常情况，此系统应当能够迅速地识别问题，并针对问题采取措施进行补采或修正，以此避免可能的错误或遗漏。

### （二）数据安全与隐私问题

#### 1. 问题表现

火电厂的设备运行数据不仅承载着企业的运营状况和成本分析，其中还可能包含了诸如客户信息、市场趋势等敏感内容，所以其是企业核心竞争力的关键所在。基于这些数据的重要性，一旦发生泄露，就可能对企业的声誉造成巨大打击，甚至是直接导致经济损失。更为严重的是，数据泄露问题可能触及到个人隐私等更深层次的法律问题，因此需要引起公众和监管部门的关注。

大数据技术的不断进步，促使火力发电厂也开始广泛应用大数据分析来优化生产流程、提高效率和减少能源浪费。然而在这个过程中，相关人员必须意识到，无论是数据的存储方式、传输手段还是共享机制，其都潜藏着不容忽视的安全隐患。因此确保数据的安全性，以防止敏感数据的泄露，对于保障企业的稳定发

展和维护用户的隐私权益来说显得尤为重要。

#### 2. 解决对策

一个完善的数据安全管理制度需包括采用先进的加密技术来对敏感数据进行安全存储与传输，以防止未经授权的访问和泄露。同时相关人员还要严格限制数据的访问权限，要确保只有经过授权的人员才能进行必要的操作，从而最大限度地减少潜在的数据安全风险。

另外为了不断提升数据安全水平，火电厂需要定期开展数据安全评估，确保及时地发现并解决可能存在的安全漏洞。而在评估的过程中，其应侧重于识别安全威胁、分析风险等级以及制定相应的应对措施。同时还应该积极地开展应急演练，为员工模拟各种可能出现的数据安全事件，进而增强团队的应急响应能力和处理突发事件的快速反应能力<sup>[4]</sup>。

### （三）专业人才短缺问题

#### 1. 问题表现

在火电厂这一关乎能源安全和效率的重要行业中，应用大数据分析不单单只要求专业技术人员具备扎实的电力设备知识，还需要其能够熟练运用大数据技术来进行深入地分析和问题诊断。然而现实情况是目前市场上这类人才的供给远远无法满足需求，因此解决人才短缺的问题已成为当务之急。

#### 2. 解决对策

当今我们处于一个快速发展的商业环境中，企业已经认识到了与高等学府和科研院所之间建立紧密合作关系的重要性。而这些合作不仅能够为企业提供创新的研究成果，其也能共同培养出符合企业需求的高素质复合型人才。同时通过开展联合培养项目，企业还能够吸引并留住那些具备深厚理论基础和实践能力的专业人才。

基于此企业为了确保员工技能与时俱进，依然需要不断地加强内部培训，特别是在大数据分析技术方面。一方面企业可通过邀请专家学者举办专题讲座，来为员工们提供了学习最前沿知识的机会。另一方面企业还可以为员工进行实操指导，让员工有机会亲手操作最新的分析工具，从而使其掌握解决实际问题的能力。

## 六、结语

实践证明，大数据分析在火电厂设备故障智能诊断与预测方面具有巨大的应用潜力和价值。尽管其在应用过程中面临着数据质量、安全隐私以及人才短缺等诸多挑战，但企业通过采取相应的对策措施，可以不断优化应用效果。

## 参考文献

- [1] 国家能源集团新能源技术研究院有限公司，国家能源集团岳阳发电有限公司. 基于大数据分析的火电厂生产设备故障自动诊断方法及系统：CN118820883A[P/OL].2024-10-22.https://www.cqvip.com/doc/patent/3471751649.
- [2] 王铁民，孙瑞，罗丹. 基于大数据平台的火电厂泵类设备故障诊断技术分析[J]. 时代汽车，2019,(15):133-136.
- [3] 曾阳，张莉，李国朋. 基于深度学习的火电厂发电装备智能故障诊断与预测研究[J]. 自动化应用，2024,65(06):102-104.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.06.035.
- [4] 钱可悦. 计算机技术在储能系统中的应用[J]. 电子技术. 2024,53(2).

# 电厂锅炉检修特点及其安全管理问题分析

王光辉

新疆生产建设兵团红星发电有限公司，新疆 哈密 839000

**摘 要：** 锅炉是电厂生产运行中不可或缺的设备之一，其运行环境通常较为复杂，尤其是长期受到高温高压的影响，锅炉的结构极易发生腐蚀、变形、损坏。因此，对于电厂而言做好对锅炉的定期检查维修十分必要与重要。文章结合对电厂锅炉检修特点的分析，探讨了电厂锅炉检修安全管理问题的解决策略，希望能够为相关电厂的安全稳定运行提供有益参考。

**关 键 词：** 电厂；锅炉检修；特点；安全管理；问题分析

## Analysis of Maintenance Characteristics and Safety Management Issues of Power Plant Boilers

Wang Guanghui

Xinjiang Production and Construction Corps Red Star Power Generation Co., Ltd. Hami, Xinjiang 839000

**Abstract：** Boiler is one of the indispensable equipment in power plant production and operation. Its operating environment is usually complex, especially under the long-term influence of high temperature and high pressure. The structure of the boiler is prone to corrosion, deformation, and damage. Therefore, it is necessary and important for power plants to regularly inspect and maintain boilers. The article combines the analysis of the characteristics of boiler maintenance in power plants and explores the solutions to the safety management issues of boiler maintenance in power plants, hoping to provide useful references for the safe and stable operation of related power plants.

**Keywords：** power plant; boiler maintenance; characteristic; safety management; problem analysis

### 引言

在社会经济快速发展的推动下，人们的生产生活水平得到了大幅提升，同时也对电力资源的供应使用提出了更高要求。基于供电需求的日益提升，许多电厂为了能够获得理想的电力资源使用效果而纷纷加大了人力、物力、资金等的投入力度，进行技术设备的引进、创新、研发，以期实现电力生产供应质量的进一步优化、提升。但是在实际电厂生产过程中，锅炉作为核心设备之一，仍然存在许多运行问题，严重制约着电力工作效率提升，同时也是电厂燃料浪费、污染超标等问题产生的重要原因，增加了电厂运行的成本负担。<sup>[1]</sup>因此，加强对锅炉的定期检修管理也就成为了电厂生产效能提升，实现经济效益增长提必然策略。

### 一、电厂锅炉检修的特点分析

就当前的电厂锅炉运行的整体情况而言，许多问题影响着锅炉运行的稳定性与安全性，其中既有锅炉环境因素的影响，也有着一些外在因素的影响，使得电厂锅炉的安全管理面临较大困难。因此，针对事故对锅炉设备进行定期检查，以及针对事故后锅炉环境的保护检查，成为了当前我国电厂锅炉检修不可忽略的安全检查工作。总的来说，我国电厂锅炉检修特点主要集中在以下两个方面：

#### （一）工作运行规律方面

就当前我国电厂锅炉工作运行规律而言，许多危险因素会对锅炉的长期、持续、稳定、安全运行产生威胁。其中既包括锅炉制造质量以及锅炉系统自身内部技术方面的问题，又有着一些外

部控制因素的影响。相关调查研究显示，在既定装机容量下，锅炉机组的故障概率最大，其次是汽轮机组，再者就是发电机组。其中，锅炉机组发生故障的概率占比甚至能够达到60%以上，对锅炉的正常、安全运行造成不良影响，甚至会引发严重的安全事故。<sup>[2]</sup>

#### （二）系统安全运行方面

在电厂锅炉运行过程中，许多因素都会整个锅炉系统的运行安全造成威胁。就锅炉的运行检修而言，主要包括日常检修与事故排除后检修这两种类型。首先，在锅炉的日常检修方面。锅炉的自动化操作检修过程中，检修人员忽略了对故障锅炉的单独检修，缺乏系统的检修方式与严格的组织管理。尤其是未能建立起完善的日常维护工作日志，类似故障以及故障之间的关联性得不到准确反映，锅炉系统的日常维护、检修质量不高。许多检修人



员对于锅炉机组设备的检修不够充分，并且在检修操作过程中缺乏必要的信息交流，这也是锅炉安全检修不彻底、不充分的重要原因。在锅炉事故排除后的检修方面，检修人员主要是凭借自身的检修工作经验来分析锅炉检修内容，对故障多发位置实施预防性检修，但是在日常维修运行、保养技术方法应用方面仍需进一步提升，需要加强系统培训，提高专业技能，实现对电厂运行实际情况下锅炉检修运行能力的优化，提高电厂锅炉检修效益。<sup>[3]</sup>

## 二、电厂锅炉安全管理问题分析

### （一）检修维护意识不足

一般来说，电厂锅炉的运行寿命较长，电厂的安全检修往往会忽视这一环节的定期检查、维修，导致锅炉系统的仪表、设备等长时间处于超负荷运行状态。看似检修层面工作人员的不安全行为，但本质上是锅炉安全管理方面存在严重疏忽。加上锅炉系统的日常维护、运行检修过程中仍然存在许多问题，收到技术、意识等方面的影响检修工作质量难以保障，腐蚀、泄露等锅炉安全隐患仍然较大。

### （二）管理水平不足

一些检修人员缺乏对锅炉运行过程以及故障应急检修操作的全面了解，安全防范措施未能严格按照制度、规章要求落实到位，进而引发严重的安全事故。导致这一现象的主要原因是检修人员的专业能力不足，未能在日常检修过程中准确预测危险因素的发展，以及缺乏足够高的安全意识，在日常检修操作过程中的工作行为不够规范，或者甚至是没有经过专业、严格的锅炉维修培训，这也体现了电厂锅炉管理方面的不足。<sup>[4]</sup>许多电厂运行忽视了安全管理规定的制定与实施，缺乏对员工安全教育培训的足够重视，在锅炉管理，包括日常的检修管理方面存在较大的盲目性、随意性，尤其是存在许多安全管理盲区、检修盲区，加剧了锅炉安全风险。

### （三）锅炉安全管理制度不完善

当前，不少电厂未能针对锅炉运维检查建立相应的安全管理制度，锅炉的安全使用缺乏明确的制度指导与安全措施保障。即便有的电厂在锅炉管理方面制定了一定安全管理规范，但是在方案布置落实，管理质量控制等方面的要求不够明确，责任落实到位，不规范操作的行为仍较为常见，甚至存在私自修改检修流程，“精简”管理环节的现象。

### （四）腐蚀效应影响

正常工况下电厂锅炉炉顶会受到高温气体的影响，已经长时间运行下炉膛内温度不断升高超出了热量控制范围，对气体金属管产生了腐蚀影响。此外，锅炉在运行过程中会产生大量的化学物质，这些化学物质同样会对金属管的使用寿命造成不利的影响。腐蚀效应和化学物质的双重作用，最终会对锅炉的生产安全带来潜在的风险。

### （五）过热效应影响

电厂锅炉加热生产过程中，过热效应的存在可能导致设备材料的力学性能退化，尤其是在高温高压环境下，锅炉部件容易出

现蠕变变形和疲劳失效，严重影响设备使用寿命。而在锅炉受热面管路当中的金属材料电阻率会受到管壁强度影响，产生更大的蠕变问题，进而大幅缩短管线的安全使用寿命，进而出现管线断裂问题。特殊情况下还会出现管线超热爆炸的严重事故，供暖时间越长，锅炉的安全风险越高，需要采取有效的降温措施避免出现过热效应。<sup>[5]</sup>

## 三、加强电厂锅炉安全管理的相关措施

### （一）增强检修维护意识

锅炉检修维护意识是确保其安全管理效果的重要前提条件。首先需要建立对锅炉正常检查与维护策略的认知与重视态度，通过加强岗位规范与作业流程统一化管理，接入统计平台对近期检修历史数据对比分析，对容易出现安全隐患的点作深入检查，专项计划与性能评估。其次，针对锅炉的安全管理，电厂重视加强检修人员对锅炉设备日常操作以及运行的安全状态的动态监测工作要求，对锅炉正常、稳定运行的数据进行定期记录、分析，以便能够在后续的检修过程中进行参数的对照分析，及时判断锅炉设备运行的异常情况，有效消除故障隐患。锅炉的电气设备也必须做到定期巡检，做好异常情况的登记、汇报、处理。再者，落实设备维修的专门人员，明确检修工作要求，确保设备随时处于安全可用状态。<sup>[6]</sup>对于日常检修过程中出现的严重问题需及时上报，组织技术人员进行深入检查，做好对锅炉的全面维修工作，避免故障问题的进一步恶化。

### （二）强化运维监督与技术改造

电厂锅炉设备的检修、更换、维修有着明确而严格的要求，在整个检修过程中必须落实严格的质量监管措施，明确检修主体责任分工，针对故障检修优化维修工作方法，并及时做好技术应用与检修方案的备案、审批工作，并加强对锅炉检修维护各个阶段的监督管理。在建立完善的岗位质量管理制度的前提下试试自我检查与交叉检查机制，确保锅炉的检修维护工作严格规范。加强对锅炉检修全过程的严格监控，设置监理单位进行检修施工监督与质量管理，对检修过程与结果进行复核、验收，并提出整改意见，督促检修工作的高效推进。完成锅炉检修之后电厂还应安排专业人员进行现场检验与试车评审，确保锅炉较好的检修效果。电厂锅炉运行过程中的各种机电系统、设备、仪表都必须做到合理安装、放置，结合锅炉运行潜在安全风险做好安全管理的监控监督，依靠先进的信息技术，提升锅炉系统运行安全的监测、预警功能的技术含量，构建完善的锅炉运行安全监测系统，为锅炉的安全运行提供保障。<sup>[7]</sup>

### （三）建立完善的锅炉安全管理制度

电厂必须全面提高锅炉安全管理的重视程度，不断完善锅炉检修管理制度，针对锅炉的运行维护实际，制定和落实有效的锅炉运行检修安全管理制度，借助全面的安全巡查，切实做到防患于未然，提高锅炉运行作业的安全系数。对此，需要重视做好对锅炉设施设备的定期巡查与及时维护，对于陈旧的、运行较大故障的零部件要及时更换、改进，结合电力生产工作需要定期对锅炉设



备的安装进行合理调整,确保锅炉的安全、稳定运行与较好效果,降低后续的检修维护成本的同时提高锅炉的整体运行效益。另外,在实际生产过程中,还可充分利用培训机制、奖惩机制来激发检修人员、管理人员的安全管理的积极性,并在安全管理制度建设运行过程中贯彻落实以人为本的生产理念,加大安全管理的宣传力度,使得全体人员明白制度约束对于安全管理的重要性,推动安全管理责任的落实,自觉自我监督,为锅炉的安全运行提供保障。<sup>[8]</sup>

（四）做好锅炉的腐蚀防护工作

锅炉腐蚀防护工作是保障设备长期稳定运行的重要环节。首先,工作人员需要定期评估锅炉炉内高温区域,如水冷壁、再热器、过热器等腐蚀情况,着重辨识高温氧化、硫化和氢腐蚀的影响因素。采取检测腐蚀速率以及金相分析等方式来对设备材料的状况进行判断,进而有针对性地制定出腐蚀防护方案。与此同时工作人员还需要在线监测与动态控制锅炉水系统内的重要指标,如氯离子浓度、含氧量以及酸碱度等,保证水质达标,减少腐蚀发生几率。其次,应用除氧、离子交换、凝结水精处理等现代化锅炉水处理技术,将腐蚀介质去除,从而达到降低锅炉内部腐蚀风险的目的。与此同时还可采取脱硫装置与烟气再循环技术来处理含硫煤燃烧产生的腐蚀性烟气,将腐蚀性气体的浓度减小,从而降低其对受热面管壁的侵蚀程度。对于受腐蚀部位则可使用热喷涂技术以及防腐涂层等方式来实施针对性保护,并选择抗腐蚀能力较强的合金材料进行替换,让设备整体抗腐蚀能力得以提升。此外,做好运行管理参数的调整,对燃烧温度、烟气流速与热负荷分布进行科学调节,将高温区域的局部腐蚀减少。不仅如此,工作人员还需要对超声波检测、射线探伤及电磁感应展开定期分析。量化评估管道腐蚀磨损情况,结合腐蚀失效模式分析,预判关键部位的安全裕度并采取针对性防护措施。<sup>[9]</sup>最后,加强检查与维护锅炉检修期间的腐蚀情况,尤其是存在较大腐蚀隐患区域,需要做好其局部开缝检查与壁厚测量,如果发现受损部件需要马

上进行更换,避免腐蚀范围进一步扩大。

（五）严格控制管线过热问题

在电厂锅炉运行过程中,过热效应是影响受热面管线安全性能的关键因素之一,需采取系统性、科学化的管控措施以延长设备使用年限,降低安全隐患。第一,工作人员需要及时监测与优化锅炉出口蒸汽温度、受热面温度、压力等锅炉运行参数参数指标,确保自动化调节系统始终处于正常范围内波动,降低受热面温度过高的风险。同时需要对锅炉载荷率进行科学设置,防止由于载荷波动过大而导致管线热应力急剧升高,减少由于局部温度过大而导致金属融裂损伤的问题出现。第二,严格选择并管理热面材料及其质量。对于高温高压运行的过热器和再热器管路,优先使用高钛钢、镍基合金等具有良好抗融裂性能的合金材料。该类材料在高温条件下其抗拉强度会更高,且电阻率会更低,能够对热变形起到有效抑制作用。不仅如此,对锅炉管道内部进行耐热漆层处理,可有效降低管壁氧化速率,提升材料抗热腐蚀能力。同时,定期开展材料组织的微观结构分析,评估管道金盘变化情况,提前识别潜在的融裂疲劳失效风险。此外,优化受热面结构设计,提升换热效率,缓解局部过热问题。<sup>[10]</sup>针对过热器、再热器间对流换热不足的问题,适当增设辅助换热装置,改善流场分布,均衡管壁温度。采用高效翼片管、复合传热管等新型传热元件,增加受热面积,提高热传导性能,降低局部温升。

四、结束语

综述可知,在电厂生产过程中,锅炉是至关重要的设备,也是事故多发的生产环节。对此,电厂必须加强对锅炉安全检修工作的高度重视,准确把握锅炉检修工作特点,结合当前安全管理存在的问题,采取有效的应对措施,不断提高锅炉设备日常运行维护、检修管理的工作水平,为电厂生产的安全、高效保驾护航。

参考文献

[1] 孙慧峰. 发电厂锅炉检修特点及其安全管理问题分析 [J]. 电力设备管理, 2023(2):63–65.  
[2] 石国锋. 浅谈热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题 [J]. 中国设备工程, 2024(11):186–188.  
[3] 薛瑞鹏. 热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题研究 [J]. Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2023, 5(10).  
[4] 周春天. 电厂锅炉检修特点及其安全管理措施 [J]. 电脑高手 (电子刊), 2022(3):1408.  
[5] 马建兵. 电厂锅炉检修注意问题及维护对策研究 [J]. 电力系统装备, 2020,(4).  
[6] 王延清, 刘剑. 电厂锅炉检修中注意的问题及维护对策 [J]. 电力系统装备, 2021,(21)  
[7] 郝鸿儒. 热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题分析 [J]. 石化技术, 2020(05).  
[8] 黄琪. 电厂锅炉安全运行管理工作探究 [J]. 科技资讯, 2020(09).  
[9] 张良恒; 盛祥卓; 毛文龙; 苑修乐; 曹海艇. 热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题分析 [J]. 中国设备工程, 2022(10).  
[10] 李彦如; 卢丽坤. 热电厂锅炉的检修及其安全问题探究 [J]. 电站系统工程, 2021(04).

# 风电设备运行故障预测与健康管理方法研究

黄骏, 方伟\*

国电投长江生态能源有限公司, 湖北 武汉 430000

**摘 要：** 随着新能源产业的快速发展, 风电作为重要的可再生能源之一, 其设备的运行故障预测与健康管理成为提升风电场运维效率、降低运维成本的关键。本文探讨了风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理、常用方法和关键技术。通过对风电设备数据的实时监测与分析, 结合人工智能和大数据技术, 实现对设备故障的提前预测与健康管理, 从而提高风电设备的可靠性和运行效率, 降低维修成本和停机损失。本文旨在为风电设备的运维管理提供理论支持和实践指导。

**关 键 词：** 风电设备; 故障预测; 健康管理

## Research on the Operation Failure Prediction and Health Management Methods of Wind Power Equipment

Huang Jun, Fang Wei\*

China Power Investment Yangtze River Ecological Energy Co., LTD. Wuhan, Hubei 430000

**Abstract：** With the rapid development of new energy industry, wind power is as one of the important renewable energy, and the operation fault prediction and health management of its equipment have become the key to improve the operation and maintenance efficiency of wind farms and reduce the operation and maintenance cost. This paper discusses the basic principles, common methods and key technologies of operation failure prediction and health management of wind power equipment. Through real-time monitoring and analysis of wind power equipment data, combined with artificial intelligence and big data technology, the advance prediction and health management of equipment faults, so as to improve the reliability and operation efficiency of wind power equipment, and reduce maintenance cost and shutdown loss. This paper aims to provide theoretical support and practical guidance for the operation and maintenance management of wind power equipment.

**Keywords：** wind power equipment; fault prediction; health management

风电设备作为可再生能源领域的重要组成部分, 其运行稳定性和可靠性直接关系到风电场的发电效率和经济效益。故障预测与健康管理作为风电设备运维的关键环节, 通过对风电设备的实时监测和数据分析, 能够提前发现潜在故障, 制定针对性的维护策略, 从而有效延长设备寿命, 降低运维成本。随着人工智能和大数据技术的不断发展, 风电设备故障预测与健康管理已经成为新能源领域的研究热点。通过构建智能算法和模型, 实现对设备状态的精准评估和故障预警, 为风电场的运维管理提供了有力的技术支持。未来, 风电设备故障预测与健康管理将向着更加智能化、精准化的方向发展, 为风电行业的可持续发展贡献力量。

### 一、风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理

#### (一) 数据采集与传输

风电场为了确保风力发电机组、变流器及变压器等核心设备的稳定运行, 精心部署了传感器和数据采集装置。这些装置如同风电场的“眼睛”和“耳朵”, 能够实时捕捉设备的振动强度、温度波动、电流变化和电压稳定性等关键参数。这些详尽的数据, 不仅反映了设备的即时工作状态, 更是预测潜在故障的重要依据。为确保数据的即时性和准确性, 风电场采用了有线与无线并行的传输方式, 构建起一张高效、稳定的数据传输网络。这些数据如同信息流, 源源不断地涌入风电场的远程监控系统中, 为

运维团队提供了直观、全面的设备状态视图, 为风电场的智能化运维奠定了坚实基础。

#### (二) 数据预处理

在风电设备的数据采集过程中, 所获取的原始数据往往包含着噪声、异常值和格式不一致等问题, 这些都会直接影响到后续的数据分析与故障预测效果。因此, 数据预处理成为了一个至关重要的环节。数据清洗, 旨在剔除那些因传感器故障、传输错误等原因产生的无效或异常数据, 确保数据的真实性和可靠性。数据转换, 则是将不同来源、不同格式的数据统一转化为可供分析的标准格式, 便于后续处理。而数据归一化, 则是通过一定的数学变换, 将不同量级、不同范围的数据调整到同一尺度上, 以提

作者简介: 黄骏 (1985-), 男, 汉族, 江西省南昌市人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 光伏, 风电运行管理;

通讯作者: 方伟 (1992-), 男, 汉族, 湖北省十堰市人, 大专, 研究方向: 光伏, 风电运行管理。邮箱: 1054861047@qq.com

高数据分析的准确性和效率。经过这一系列预处理步骤，原始数据得以净化、规范，为后续的数据分析与故障预测奠定了坚实的基础。

### （三）数据分析与建模

在风电设备运维领域，数据分析与建模是预测设备状态、预防故障发生的核心步骤。预处理后的高质量数据，为这一步骤提供了坚实的基础。利用统计分析、机器学习、深度学习等先进的数据分析方法，科研人员能够深入挖掘数据中的隐含规律和特征，从而构建出精准的设备状态评估模型和故障预测模型。这些模型如同风电设备的“智慧大脑”，能够实时监测设备的运行状态，准确预测潜在的故障风险，为运维团队提供科学、可靠的决策依据<sup>[1]</sup>。通过不断优化模型，可以进一步提升故障预测的准确性和时效性，为风电场的稳定运行保驾护航。

### （四）健康管理与维护决策

设备健康管理与维护决策是风电场高效运维的关键环节。基于数据分析的结果，运维团队能够实时掌握风电设备的运行状态，一旦发现异常，立即启动预警机制，迅速通知相关人员采取必要的维护措施，有效防止设备故障的进一步发展。同时，结合故障预测模型的结果，运维团队能够科学规划维修计划，合理安排维修资源，优化维修方案和周期，从而在确保设备稳定运行的同时，最大限度地降低维修成本和维修时间。这种基于数据的健康管理与维护决策模式，不仅提升了风电场的运维效率，也为风电行业的可持续发展提供了有力支持。

## 二、风电设备运行故障预测与健康管理的常用方法

### （一）基于统计分析的方法

统计分析方法在风电设备运维中扮演着重要角色。它通过对历史数据的深入挖掘，揭示设备故障与运行参数之间的内在联系。回归分析能够量化不同参数对设备状态的影响程度，帮助识别关键影响因素；相关分析则用于评估参数间的关联性，发现潜在的故障征兆；时间序列分析则侧重于捕捉数据随时间变化的趋势和周期性规律，为预测设备未来的运行状态提供有力支持<sup>[2]</sup>。这些统计分析方法共同构成了设备状态评估和故障预测的重要工具，为风电场的智能化运维提供了科学依据。

### （二）基于机器学习的方法

机器学习方法在风电设备健康管理中展现出巨大潜力。通过对海量数据的训练，这些方法能够自动捕捉设备状态与故障之间的复杂关系，构建出高精度的评估与预测模型。支持向量机（SVM）擅长处理高维数据，实现精准分类；随机森林通过集成多个决策树，提高预测的稳定性和准确性；神经网络则凭借其强大的学习能力，能够拟合复杂的非线性关系。这些机器学习方法不仅提升了设备状态评估的精确度，也显著增强了故障预测的可靠性和泛化能力，为风电场的智能化运维提供了有力支撑。

### （三）基于深度学习的方法

深度学习方法凭借深度神经网络，在风电设备运行故障预测与健康管理中展现出卓越性能。它能够高效处理大规模、高维度的

数据，挖掘出深层次的特征信息，显著提升预测的精度和鲁棒性。通过不断学习和优化，深度学习方法能够精准捕捉设备状态的细微变化，提前预警潜在故障，为运维团队提供宝贵的时间窗口，采取相应措施，避免故障发生，确保风电设备的稳定运行<sup>[3]</sup>。这一技术为风电场的智能化运维提供了有力支持，推动了风电行业的可持续发展。

### （四）基于物理模型的方法

基于物理模型的方法在风电设备运维领域展现出显著优势。该方法通过深入理解设备的物理特性和运行原理，构建出精准的设备物理模型。这一模型能够全面模拟设备的运行过程和故障发生机制，从而实现对设备状态的精确评估和故障的高效预测。虽然该方法要求具备深厚的专业知识和对设备内部机理的深入了解，但其预测精度通常较高，能够为运维团队提供科学的决策依据<sup>[4]</sup>。基于物理模型的方法不仅提升了设备运维的智能化水平，还为风电场的稳定运行和可持续发展奠定了坚实基础。

### （五）混合方法

混合方法在风电设备运行故障预测与健康管理中展现出独特优势。该方法巧妙融合多种算法和数据源，将统计分析与机器学习、物理模型与深度学习等先进技术相结合，实现对设备状态的全方位、深层次评估。通过充分利用不同方法的优势，混合方法能够捕捉到更多、更细微的设备状态信息，显著提升故障预测的准确性和鲁棒性<sup>[5]</sup>。这一方法不仅提高了运维团队的决策效率，还为风电设备的稳定运行提供了坚实保障，推动了风电行业向更加智能化、高效化的方向发展。

## 三、风电设备运行故障预测与健康管理的关键技术

### （一）传感器技术与数据采集

传感器技术与数据采集在风电设备运维中发挥着至关重要的作用。传感器，作为风电设备的“神经末梢”，通过精准感知设备关键参数的变化，如振动强度、温度波动、电流状况等，为故障预测与健康管理提供了丰富的数据资源。而数据采集技术，则如同一座桥梁，将这些宝贵的数据实时、准确地传输到风电场的远程监控系统中，为后续的数据分析与预测奠定了坚实的基础<sup>[6]</sup>。这一过程不仅确保了数据的实时性和准确性，也为风电设备的智能化运维提供了强有力的技术支撑，推动了风电行业的持续发展。

### （二）大数据分析技术

大数据分析技术在风电设备运维领域扮演着核心角色。面对海量、复杂的数据，大数据分析技术能够深入挖掘其中的价值信息和潜在规律，为设备状态评估和故障预测提供科学依据。数据挖掘技术能够发现数据间的关联性和趋势，揭示设备运行的内在机理；数据可视化技术则将复杂数据转化为直观的图表和图像，便于运维人员快速理解设备状态；数据关联分析则进一步探索数据间的因果关系，提升预测的准确性和可靠性<sup>[7]</sup>。这些技术共同构成了风电设备智能化运维的强大引擎，为风电行业的可持续发展注入了新的活力。



### （三）人工智能与机器学习技术

人工智能与机器学习技术在风电设备运维中发挥着举足轻重的作用。这些技术通过构建高效的智能算法和模型，能够实时监测设备状态，精准预测故障风险，为风电场的稳定运行提供有力保障。神经网络、支持向量机、随机森林等算法，凭借其强大的数据处理和模式识别能力，成为设备状态评估和故障预测的重要工具；而深度学习、强化学习等先进技术，则进一步提升了预测的准确性和时效性，推动了风电设备运维向智能化、自主化方向发展<sup>[8]</sup>。这些技术的不断创新和应用，为风电行业的可持续发展注入了强劲动力。

### （四）远程监控与通信技术

远程监控与通信技术在风电设备运维领域发挥着至关重要的作用。借助远程监控系统，运维人员能够实时掌握风电设备的运行状态，及时发现潜在故障，并采取相应的维护措施，确保设备的稳定运行。而通信技术，则如同一条无形的纽带，将监测数据从风电场现场迅速传输到远程监控中心，实现了数据的实时处理和高效传输<sup>[9]</sup>。这一过程不仅提升了运维的效率和准确性，也为风电设备的智能化运维提供了强有力的技术支持，推动了风电行业的数字化转型和智能化发展。

### （五）健康管理与维护决策技术

健康管理与维护决策技术是风电设备运维的核心目标所在。该技术通过实时监测设备状态，精准预测故障风险，为运维团队提供了科学的决策依据。基于这些预测结果，运维团队能够制定合理的维护计划，优化维修方案，精准安排维修周期和资源，从而在确保设备稳定运行的同时，最大限度地降低维修成本和停机

损失。这一过程不仅提升了设备的可靠性和运行效率，也为风电场的经济效益和可持续发展奠定了坚实基础。健康管理与维护决策技术的不断创新和应用，正引领着风电行业向更加智能化、高效化的方向发展。

### （六）系统集成与数据融合技术

系统集成与数据融合技术在风电设备运维中发挥着至关重要的作用。该技术通过巧妙地将多种数据源和算法进行集成和融合，构建出全面的设备状态监测和故障预测系统。数据融合算法能够整合来自不同传感器和算法的数据，提取出更加准确、全面的设备状态信息；而系统集成框架则确保这些数据和信息能够无缝对接，为运维团队提供一站式的解决方案<sup>[10]</sup>。这一过程不仅提升了设备状态评估的准确性和故障预测的可靠性，也为风电场的智能化运维提供了强有力的技术支持，推动了风电行业的技术创新和发展。

## 四、结论

风电设备运行故障预测与健康管理是提高风电场运维效率、降低运维成本的重要手段。通过对风电设备的实时监测和数据分析，结合人工智能和大数据技术，实现对设备故障的提前预测与健康管理。本文探讨了风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理、常用方法和关键技术，为风电设备的运维管理提供了理论支持和实践指导。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，风电设备运行故障预测与健康管理将在风电领域发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1] 徐俊山, 孔小强, 马廷, 等. 基于机理建模与大数据技术的风电设备故障诊断与预测分析 [J]. 电子技术, 2024, 53 (02): 274-275.
- [2] 李冰. 大数据平台在风电设备维护与故障预防中的作用研究 [J]. 产业科技创新, 2024, 6 (01): 48-51.
- [3] 郭明龙. 风力发电机组故障诊断与预测技术探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (04): 58-60.
- [4] 许春福. 风力发电机组故障诊断与预测技术研究综述 [J]. 能源与环境, 2022, (03): 46-47.
- [5] 邱英强, 吴京龙, 陈俊, 等. 基于机器学习算法的风电机组故障预测系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021, (09): 190-193.
- [6] 郭莹莹. 风电机组故障诊断与预测方法研究 [D]. 河北工业大学, 2019.
- [7] 邸帅. 风电机组关键部件故障预测技术研究 [D]. 华北电力大学, 2017.
- [8] 刘敬智, 宋鹏, 白恺, 等. 风力发电机组故障预测技术研究 [J]. 华北电力技术, 2016, (12): 49-54.
- [9] 马玉. 风电机组的故障预测方法研究 [D]. 北京邮电大学, 2016.
- [10] 黄丽丽. 基于 SCADA 的风力机故障预测与健康管理技术研究 [D]. 电子科技大学, 2015.



# 新能源背景下火电厂基建转型的战略规划与技术突破

李冠阳

山西锦兴能源有限公司锦兴电厂，山西 吕梁 030000

**摘 要：** 本文探讨了新能源环境下火电厂基础设施转型的挑战与策略。分析了新能源对火电市场的冲击和火电厂转型的初步尝试，揭示了技术不成熟、资金和人才不足等问题。讨论了转型过程中的技术、经济、政策和社会挑战，包括新能源融合、投资回报、政策适应等。提出了转型战略，涵盖“火电+新能源”互补、技术创新、政策与市场应对等方面。通过国投湄洲湾、青海省投、国能广投北海等案例，展示了火电厂在管理模式、环境效益、智慧化和绿色技术方面的创新成果，为火电厂在新能源时代的可持续发展提供了借鉴。

**关 键 词：** 新能源；火电厂；基建转型；战略规划；技术突破

## Strategic Planning and Technological Breakthroughs for the Infrastructure Transformation of Thermal Power Plants in the Context of New Energy

Li Guanyang

Jinxing Power Plant, Shanxi Jinxing Energy Co., Ltd. Lvliang, Shanxi 030000

**Abstract：** This article explores the challenges and strategies of infrastructure transformation for thermal power plants in the new energy environment. It analyzes the impact of new energy on the thermal power market and the initial attempts of thermal power plants to transform, revealing issues such as technological immaturity, insufficient funds, and talent shortages. The article discusses the technical, economic, policy, and social challenges faced during the transformation process, including new energy integration, investment returns, and policy adaptation. It proposes a transformation strategy that covers complementarity between thermal power and new energy, technological innovation, and policy and market responses. Through case studies of SDIC Meizhou Bay, Qinghai Provincial Investment, and Guoneng Guangtong Beihai, the article demonstrates innovative achievements in management models, environmental benefits, intelligence, and green technology in thermal power plants. These cases provide valuable insights for the sustainable development of thermal power plants in the new energy era.

**Keywords：** new energy; thermal power plant; infrastructure transformation; strategic planning; technological breakthrough

## 引言

随着全球能源加速迈向清洁低碳时代，新能源产业发展势头迅猛，深刻重塑了传统火电的行业格局。太阳能、风能、水能等新能源装机量在全球持续上扬，在能源结构中的占比稳步增长，这使得传统火电遭遇严峻挑战，包括市场份额被蚕食、调峰调频压力加剧以及运营成本上升等问题。

## 一、新能源背景下火电厂基建转型的现状分析

### （一）新能源发展概况

在当今的能源领域，新能源发展态势迅猛，对传统火电产生了深远的影响。太阳能作为极具潜力的新能源代表，全球装机规模持续上扬，我国更是独占鳌头，其应用场景不断拓展，广泛分布于各类建筑屋顶，能源结构占比稳步提升，这得益于技术革新与政策扶持双轮驱动。在我国发电行业进一步发展的过程中，出现了更多类型的新能源技术。为了确保新能源技术能够发挥应有价值，我国各地方政府也在不断推动技术配套设施的建设，为技

术利用与普及提供了保障。根据发电行业的实际情况，核心新能源为水能与风能，此外，光伏能源也得到了进一步的应用，能够取得良好的利用成效。在实际应用过程中，各地方政府和火力发电厂必须从自身地理情况出发，进行综合衡量与选择，以此实现安全稳定的电力资源供应<sup>[1]</sup>。新能源的蓬勃发展使传统火电腹背受敌，在市场份额上，新能源发电的扩张使火电发电空间受限，发电量增速放缓；在市场竞争中，新能源平价上网冲击火电电价，加剧竞争；从能源结构调整视角，火电需顺应低碳趋势转型，且因新能源发电的不稳定性，火电调峰调频压力增大，运营成本和转型压力攀升，火电行业亟需探寻转型之路以应对挑战，

实现可持续发展。

## （二）火电厂基建转型现状

近年来，新能源的崛起为火电厂基建带来机遇与挑战，推动其积极转型。部分火电厂凭借自身优势，拓展供热、供冷等综合能源服务，在北方供热中实现热电联产，提升能源利用效率，还涉足能源托管与节能改造，为其他企业降本增效，拓宽盈利渠道。在技术应用方面，不少火电厂探索构建“智慧火电厂”，借助大数据、人工智能与物联网，实现设备实时监测、故障预警和智能运维，增强设备可靠性；开展灵活性改造，提升机组调峰调频能力，与新能源发电互补，保障电力稳定；探索储能技术，打造“风光火储”一体化项目，稳定电力输出<sup>[2]</sup>。

然而，火电厂基建转型困难重重。技术应用上，虽新技术理论前景好，但在火电厂复杂工况下适应性不佳，如智能监测受电磁、设备老化影响，储能技术也因成本高、能量密度及效率寿命问题，难以满足大规模储能需求。资金投入压力大，综合能源服务与技术改造前期硬件购置和后期维护成本高，回收周期长、风险大，日常运营与转型资金难平衡。人才方面，基建转型需复合型人才，传统火电厂人员结构单一，新兴技术人才短缺，且受清洁能源领域人才竞争影响，人才匮乏制约转型速度。

## 二、火电厂基建转型面临的挑战

### （一）技术层面的挑战

当今新能源发展迅猛，火电厂基建转型面临新能源接入融合与传统火电技术升级的双重困境。新能源接入电网后，因其发电特性致使电网功率失衡，风电并网对电网无功调节和调压协同要求严苛，实际操作艰难，且接入方式繁杂引发电压波动等问题<sup>[3]</sup>。储能配套上，锂电池成本高昂，铅酸蓄电池能量密度欠佳，难以契合火电厂储能需求，许多火电厂在新能源接入尝试中问题频出，如某厂接入风电场后电网频率异常波动，虽有缓解却仍存隐患。

传统火电技术升级也刻不容缓且阻碍重重。我国火电技术虽有进展，但燃烧效率提升愈发艰难，研发新设备投入巨大且突破不易。在减排领域，火电降碳技术缺乏规划，CCUS项目产业链脱节，BECCS尚处理论阶段，脱硫脱硝设备升级也需高额投入与长期研发。加之煤价上扬使火电企业经营艰难，如2021年部分上市公司亏损严重，无力支撑技术与设备革新，严重制约了火电基建转型，亟须探索破局之法以达到可持续发展目标。

### （二）经济层面的挑战

在新能源浪潮冲击下，火电厂基建转型在投资与市场竞争方面困境重重。从投资成本与回报来看，火电厂涉足新能源领域，设备购置成本高昂，如建设50兆瓦风电场，风机采购及配套建设费用惊人，“智慧火电厂”建设与机组灵活性改造也需大量资金，且后续维护成本不低。而新能源发电受自然条件制约，发电量不稳定，加上市场竞争影响电价，投资回报周期漫长且不确定，许多火电厂初期常亏损，依赖资金支持，等待新能源项目成熟与市场稳定才能盈利，这对火电厂资金与投资能力是巨大考验。在

市场竞争中，火电厂处境艰难<sup>[4]</sup>。一方面，传统火电企业竞争激烈，在有限的火电市场及关联领域，如电网调峰项目，各厂围绕机组性能与成本激烈角逐。另一方面，新兴新能源企业强势崛起，凭借技术、成本与市场开拓优势迅速扩张，抢占优质资源，使火电厂拓展新能源业务艰难。且新能源平价上网后，火电价格优势消失，盈利空间被压缩。

### （三）政策与社会层面的挑战

在政策方面，能源政策虽指明方向，但碳排放政策的执行颇具难度。企业需升级设备以契合要求，可碳排放管理体系复杂，专业人才匮乏，致使部分企业在碳排放核算与交易时失误频发，影响经济效益与合规形象。同时，新能源补贴政策调整，火电厂投资新能源项目时，不得不重新评估成本效益，以实现自负盈亏。此外，合规操作流程繁琐，传统基建运营模式根深蒂固，改造转型需大量资金与人员培训投入，企业在平衡政策要求与自身实际情况时举步维艰。于社会层面而言，公众环保意识高涨，对火电转型满怀期待，周边居民时刻关注废气粉尘污染，令火电厂承受巨大舆论压力<sup>[5]</sup>。若转型迟缓或与新能源理念相悖，便极易引发公众不满与批评，如某厂储能项目因公示不足而被居民抵制。而且，部分公众对火电心存偏见，即便火电厂转型成效初显，如供热服务，也可能因信任缺失而受阻。

## 三、火电厂基建转型的战略规划

### （一）多元化能源供应转型战略

华能粤东“风光火储一体化”项目落地海门电厂，堪称典范。启动时，依据当地风、光资源与电力需求，精细规划火、风、光装机配比，其熔盐储热技术优势显著，凭借强大的电加热功率、储能容量和产汽量，保障机组安全灵活运行，有效解决新能源消纳难题，宛如“能源稳定器”。投产后，机组调频响应迅速，热电解耦效果出色，节能减排成效显著，大幅提升能源利用效率，成为“火电+新能源”互补的楷模，为业界提供宝贵借鉴。此外，一些火电厂利用自身优势拓展综合能源服务领域，实现多元发展。某厂升级设备后，针对园区企业用能特性定制能源方案，为制造业供蒸汽，为需冷企业供冷，并提供能源托管服务。专业团队挖掘节能潜力，实施改造措施，既提升园区能源效率，又拓宽自身盈利渠道，开创了可持续发展新路径，值得行业借鉴，推动火电厂在新能源时代踏上新征程，焕发新活力。

### （二）技术创新驱动战略

华能粤东“风光火储一体化”项目于海门电厂落地，堪称经典之作。项目伊始，依据当地风、光资源与电力市场状况，精心规划火、风、光装机比例，其熔盐储热技术优势卓越，60兆瓦电加热功率、120兆瓦时储能容量及90吨/小时产汽量，使机组安全灵活，成为化解新能源消纳难题的“利器”<sup>[6]</sup>。投运后，调频响应敏捷，热电解耦优异，深调容量大增，节能减排显著，极大提升能源利用效率，是“火电+新能源”互补的标杆，为同行提供宝贵经验。同时，有的火电厂拓展综合能源服务领域，实现多元发展。某厂升级设备具备热电冷联供能力后，为园区企业定制能

源方案，提供蒸汽与制冷服务，并开展能源托管。专业团队挖掘节能潜力，实施节能设备更换与照明优化等措施，既提升园区能源效率，又拓宽自身盈利渠道，开拓出可持续发展新路径，值得行业借鉴，助力火电厂在新能源时代焕发新生机，迈向综合能源服务新征程。

（三）政策与市场应对战略

政策上，国家能源政策是火电厂转型的指南针。可再生能源配额制下，电厂依托本地新能源资源规划“风光火储”项目，满足供电比例要求；碳交易政策中，通过“三改联动”降碳，既免罚款又获利。同时，政府补贴和税收优惠众多，火电厂需紧跟政策，积极申报项目，缓解资金压力，加速转型。市场中，火电厂全方位提升竞争力<sup>[7]</sup>。服务质量方面，以综合能源服务为突破口，参考成功案例，为周边企业定制能源方案，如热电联产、吸收式制冷，提供能源托管，降本增效，树立口碑。成本控制上，打造“智慧火电厂”，创新技术与管理，提升能源利用效率，优化新能源项目建设运营流程，降低成本<sup>[8]</sup>。品牌塑造中，借“风光火储”项目展现稳定、绿色优势，吸引用户，拓展市场，在新能源浪潮中稳健前行，实现可持续发展。

四、火电厂基建转型的技术突破案例分析

（一）国投湄洲湾第二发电厂案例

国投湄洲湾第二发电厂作为国投电力基建改革的先锋，其建设模式与技术应用成果卓著，堪称行业典范。基建管理上，采用山东电力工程咨询院总承包的EPC模式，以设计引领工程全过程，整合各环节，保障施工图充足，解决设计施工脱节问题，从源头管控造价，节省近5亿元费用。施工中创新的分区、分层法成效显著，推广至全厂，优先建设地下设施，减少开挖与交叉，主厂房施工高效有序，相关工法荣获电力建设奖项并申报专利<sup>[9]</sup>。

环境效益提升方面亦表现亮眼。二期采用超超临界燃煤机组，每度电耗煤大减，年降烟尘、二氧化硫排放可观。追加3亿建脱硫、脱硝、湿式电除尘等设施，排放远超燃气机组标准，污水治理清污分流后全部复用，实现零排放，各项指标优于合同与燃

机排放要求。而且，城市中水与灰渣综合利用等循环经济项目，进一步凸显其节能减排成效，为火电厂环保建设树立了标杆，有力推动行业向绿色、高效、可持续方向迈进，是火电厂基建转型可借鉴的成功范例。

（二）青海省投3×660MW“上大压小”火电项目案例

青海省投3×660MW“上大压小”火电项目极具创新性与前瞻性，为火电厂可持续发展打造了样板，助力能源结构优化。建设中，其智慧工地系统集成18个子系统，借助高科技使物体接入“物联网”，深度融合管理与施工，如39台摄像头覆盖关键区域，可远程操控与智能识别隐患，对违章行为及时报警，提升建设效率与安全管理水平，为智慧电厂筑牢根基<sup>[10]</sup>。建成后，依托1+5+N模式平台，融合多种先进技术与电厂技术，全面提升本质安全、运营管理等关键指标，塑造现代化电厂典范。

在绿色低碳技术方面突破显著，等离子点火替代柴油，氢冷改双水内冷，烟气脱硝用尿素代替液氨，生产用水全用城市中水且废水“零”排放，从源头削减污染与风险，践行绿色理念。同时推进设备国产化，探索高海拔煤锅炉调峰技术，实现无启动锅炉运行，既提升国内设备制造水平，又保障电力稳定供应与节能减排。该项目为火电行业绿色转型提供范例，引领火电向环保、高效、智能方向发展，推动青海省新能源大规模开发与能源结构升级。

五、结束语

在新能源快速发展的推动下，火电厂转型成为必然。这不仅关乎能源结构优化和能源安全，也是行业持续发展和环保应对的必要途径。火电厂已在“风光火储”一体化和智慧电厂方面取得进展，但技术、资金、人才仍是瓶颈。未来，火电厂转型空间广阔，方向多元。火电与新能源的融合将加深，智能化和数字化将提高运营效率。绿色低碳技术创新，特别是高效燃烧和CCUS技术，是转型的关键。同时，人才培养和创新机制是成功转型的基石。尽管存在技术标准、网络安全和资金回报等挑战，火电厂转型既是机遇也是考验。行业需共同探索，为构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系贡献力量。

参考文献

[1]张琪. 新能源技术在火力发电厂中的应用研究 [J]. 光源与照明, 2022,(08):171-173.  
[2]段春佳. 老旧小火电厂转型发展路径探索 [J]. 中国电力企业管理, 2023,(01):82-83.  
[3]郭瑞来. 从传统火电厂向综合能源服务商转型 [J]. 中国电力企业管理, 2020,(16):79-81.  
[4]张浩洋. 创新联合体实现了多项关键技术突破 [N]. 江门日报, 2023-12-05(A02).DOI:10.28448/n.cnki.njmbr.2023.002334.  
[5]李宏. A 火电厂人工成本控制研究 [D]. 太原理工大学, 2020.DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2020.000651.  
[6]王世朋, 陈瞳, 刘丽丽. 山东储能示范项目应用场景分析及盈利性评价 [J]. 科技和产业, 2022,22(11):76-81.  
[7]吴雨晴, 文松赫, 朱国伟, 等. 碳中和背景下能源可持续利用理论及火电厂成本核算研究——以某市某火电厂为例 [J]. 环境生态学, 2022,4(04):39-44.  
[8]袁高亮. 新能源发电技术在火力发电厂中的应用 [J]. 光源与照明, 2021,(03):116-117.  
[9]王蕊. 实施卓越绩效模式打造标杆示范项目——访山东电力工程咨询院有限公司副总经理宫俊亭 [J]. 中国勘察设计, 2020(12):66-69.DOI:10.3969/j.issn.1006-9607.2020.12.019.  
[10]甄龙, 徐辉, 陶李, 等. 电厂“智慧工地”的建设与应用 [C] //2019年中国电力规划设计协会勘测分会测量专业经验交流会议论文集. 2020:1547-1560.



# 风电项目智慧场站的安全生产与风险管理

袁嘉欣

内蒙古白音华铝电有限公司自备电厂，内蒙古 锡林郭勒盟 026200

**摘 要：** 本文深入探讨了风电项目智慧场站的安全生产与风险管理，从智慧场站的概述、面临的安全风险、安全生产措施、风险管理策略以及实际应用等方面进行了全面分析。通过智能化技术的应用，智慧场站有效提升了风电项目的安全生产水平和风险防控能力，为风电行业的可持续发展提供了有力支持。

**关 键 词：** 风电项目；智慧场站；安全生产；风险管理；智能化技术

## Safety Production and Risk Management of Smart Stations for Wind Power Projects

Yuan Jiaxin

Inner Mongolia Baiyinhua Aluminum & Electric Co., Ltd. Self-supplied Power Plant, Xilin Gol League, Inner Mongolia 026200

**Abstract：** This paper deeply discusses the safety production and risk management of smart stations in wind power projects, and makes a comprehensive analysis from the aspects of overview, safety risks, safety production measures, risk management strategies and practical applications of smart stations. Through the application of intelligent technology, the smart station has effectively improved the safety production level and risk prevention and control capabilities of wind power projects, and provided strong support for the sustainable development of the wind power industry.

**Keywords：** wind power projects; smart stations; safety production; risk management; intelligent technology

随着全球能源结构的调整和清洁能源的发展，风电作为重要的可再生能源之一，其装机容量和发电量持续增长。然而，风电场站的建设和运营过程中面临着诸多安全风险，如何确保风电项目的安全生产成为行业关注的焦点。智慧场站作为风电项目的新型管理模式，通过集成物联网、大数据、云计算等先进技术，实现了对风电设备的远程监控、智能诊断、故障预警等功能，为风电项目的安全生产和风险管理提供了新的解决方案。

### 一、风电项目智慧场站概述

#### （一）定义与特点

智慧场站，这一风电项目管理的革新典范，深度融合了物联网、大数据、云计算等现代信息技术，开创性地重塑了风电场站的管理模式。它超越了传统数据收集与处理中心的局限，成为了一个功能全面、高效智能的综合管理平台。该平台不仅具备设备远程监控、智能预警、故障诊断等多元化功能，更通过物联网技术，实现了风电场站内各类设备的互联互通，实时监测设备运行状态，确保风电项目的安全高效运行。同时，智慧场站充分利用大数据技术，对海量数据进行深度挖掘与分析，精准捕捉设备运行的异常信号和潜在风险，为风电项目的风险管理提供科学依据。云计算技术的引入，则进一步增强了智慧场站的数据存储和处理能力，使其能够高效应对风电场站的复杂运行数据，为风电项目的安全生产提供坚实的技术支撑<sup>[1]</sup>。

#### （二）建设目标

智慧场站的建设，旨在全面提升风电场站的综合性能与效益，开启风电项目管理的新篇章。其核心目标在于，借助高度集

成的现代信息技术，推动风电场站自动化水平的显著提升。从设备的日常监控到故障预警，再到维护管理，智慧场站将实现全过程的智能化、自动化操作，大幅度减少人工干预，显著提升工作效率。同时，智慧场站的建设还着眼于风电场站运营效率的跨越式提升。通过实时数据分析与智能调度，智慧场站能够精准捕捉风电资源的波动规律，优化风电资源的配置与利用，确保风电场站能够持续、稳定地为社会输出清洁电力，满足日益增长的清洁能源需求。在安全性方面，智慧场站的建设更是至关重要。它利用物联网、大数据等技术手段，实时监测设备状态与运行环境，及时发现并预警潜在的安全隐患，有效防范事故的发生，确保人员与设备的安全。

#### （三）技术架构

智慧场站的技术架构，是一个层次分明、协同工作的综合体系，主要包括感知层、网络层、平台层和应用层四大组成部分。感知层，作为智慧场站技术架构的基础，负责采集风电场站内的各类数据。通过部署各类传感器与监测设备，实时收集设备运行参数、环境数据等信息，为后续的数据分析与处理提供原始素材。网络层，则承担着数据传输与通信的重任。它利用先进的通

作者简介：袁嘉欣（1997.05-），女，汉族，内蒙古自治区锡林郭勒盟，大学本科，助理工程师，研究方向：燃煤电厂热工自动化专业以及风电、光伏等新能源发电领域。



信技术，如无线传感器网络、光纤通信等，将感知层采集的数据快速、准确地传输至平台层进行处理。平台层，是智慧场站技术架构的核心。它依托云计算与大数据技术，对接收到的数据进行深度挖掘与分析，实现设备的远程监控、故障诊断与预警等功能。同时，平台层还为应用层提供数据支持与服务接口，确保各项智能化功能的实现。应用层，则是智慧场站技术架构与用户交互的界面<sup>[2]</sup>。它根据用户的需求与场景，开发各类智能化应用，如设备监控、数据分析、故障预警等，为用户提供便捷、高效的风电场站管理体验。

## 二、风电项目智慧场站面临的安全风险

### （一）设备故障风险

风电项目智慧场站面临的首要安全风险便是设备故障风险。风电设备，尤其是大型风力发电机，长期处于户外恶劣环境中运行，承受着极端天气条件、持续机械应力以及电气负荷的考验。在长期运行过程中，这些设备极易出现各类故障，如叶片因长期承受风力与自身重量而发生断裂，齿轮箱因润滑不良或磨损过度而损坏等。这些设备故障不仅会导致风电场的发电效率显著降低，影响电力供应的稳定性和可靠性，还可能对现场工作人员和周边设备构成直接的安全威胁。叶片断裂可能引发飞溅伤害，齿轮箱损坏则可能引发火灾或漏油等次生灾害，对风电场站的安全运营构成严峻挑战。因此，如何有效监测和预防设备故障，及时采取应对措施，确保风电设备的稳定运行，是智慧场站安全管理的重要课题。

### （二）自然灾害风险

风电场站由于其特定的地理位置和运营需求，往往坐落于偏远且风力资源丰富的地区。这些区域虽然为风电场站提供了得天独厚的风力条件，但同时也使其暴露在多种自然灾害的威胁之下，尤其是台风和雷暴等极端天气现象。台风带来的强风和暴雨可能对风电设备造成严重的物理损害，如叶片断裂、塔架倾斜甚至倒塌，这些都将直接导致发电能力的丧失。而雷暴则可能引发雷击事故，不仅损坏电气设备和控制系统，还可能造成电力中断，影响风电场的正常运营<sup>[3]</sup>。

### （三）网络安全风险

在智慧场站的建设过程中，风电场站的网络化水平得到了显著提升，这极大地提高了风电项目的运营效率和管理水平。然而，与此同时，风电场站也面临着日益严峻的网络安全风险。随着风电场站内部网络的不断扩大和与外部网络的连接，网络攻击和数据泄露的风险也随之增加<sup>[4]</sup>。黑客可能利用系统漏洞或恶意软件，对风电场站的网络进行渗透和攻击，窃取敏感数据，破坏系统正常运行，甚至对风电设备实施远程操控，造成不可估量的损失。

## 三、智慧场站安全生产措施

### （一）加强设备维护保养

智慧场站的安全生产，离不开对风电设备的精心维护保养。

风电设备作为风电场站的核心组成部分，其运行状态直接关系到电力生产的稳定性和安全性。因此，定期对风电设备进行全面维护保养至关重要。通过制定详细的设备维护保养计划，明确各项维护保养的内容和周期，确保设备得到及时、有效的维护。在维护保养过程中，要重点关注设备的磨损情况、润滑状况以及电气连接等关键环节，及时发现并处理潜在故障，防止故障扩大化，确保设备始终处于良好的运行状态。同时，还要加强设备维护保养人员的培训和管理，提高其专业技能和责任意识，确保维护保养工作的质量和效果<sup>[5]</sup>。

### （二）完善安全管理制度

在智慧场站的安全生产管理中，完善的安全管理制度是确保各项安全措施得到有效执行的关键。智慧场站应建立健全的安全管理体系，明确各级人员的安全职责和操作规范，从制度层面确保安全生产的顺利进行。安全管理制度应涵盖风电设备的运行管理、维护保养、故障处理、人员培训等多个方面，确保每个环节都有章可循、有据可依。通过制度的约束和引导，提高员工的安全意识和操作技能，使其能够严格遵守安全操作规程，有效防范各类安全事故的发生<sup>[6]</sup>。

### （三）智能化技术应用

智慧场站的安全生产，离不开智能化技术的有力支撑。通过运用物联网、大数据等先进技术，智慧场站实现了对风电场站的实时监测和预警，为安全生产提供了强大的技术支持。物联网技术能够将风电设备连接成网，实时监测设备的运行状态和各项参数，一旦发现异常情况，立即触发预警机制，通知相关人员及时处理，有效避免了安全事故的发生。同时，大数据技术则能够对海量数据进行深度挖掘和分析，发现设备运行的潜在规律和故障趋势，为安全生产提供决策依据。

## 四、智慧场站风险管理策略

### （一）风险识别与评估

智慧场站的风险管理策略始于风险识别与评估。这一环节至关重要，它要求管理者通过数据分析、专家评估等多种方法，对风电场站可能面临的各种风险进行全面而深入的识别。数据分析方面，可以利用物联网技术收集的大量设备运行数据、环境数据等，通过算法模型进行风险预测和识别。专家评估则依赖于行业专家的专业知识和经验，对风电场站的实际运营情况进行深入剖析，发现潜在的风险点。在全面识别风险的基础上，智慧场站还需对风险进行科学合理的评估，确定风险的等级和优先级<sup>[7]</sup>。这有助于管理者更加清晰地了解风险的大小和紧迫性，为后续的风险应对和处置提供有力依据。

### （二）风险监控与预警

在智慧场站的风险管理中，风险监控与预警机制是确保安全生产的重要防线。通过建立全面的风险监控体系，智慧场站能够实时监测风电场站的各项运行数据，及时发现并处理潜在的风险因素。预警机制则是风险监控的延伸，它能够在风险达到一定程度时，自动触发预警信号，通知相关人员采取应对措施。预警机

制的设置需要基于科学的风险评估结果，确保预警的准确性和及时性<sup>[8]</sup>。

### （三）应急处置与恢复

智慧场站的风险管理策略中，应急处置与恢复是不可或缺的一环。为了有效应对可能发生的各类风险事件，智慧场站需要提前制定应急处置预案，明确应急处置的具体流程和责任人。应急处置预案应涵盖风险事件的识别、报告、评估、处置和恢复等各个环节，确保在风险发生时，能够迅速启动预案，按照既定流程进行应急处置。同时，预案中还需明确各级人员的职责和分工，确保应急处置工作的高效有序进行。在应急处置结束后，智慧场站还需及时开展恢复工作，对受损设备和系统进行修复，尽快恢复风电场站的正常运行。通过完善的应急处置与恢复机制，智慧场站能够最大限度地减少风险事件对安全生产的影响。

## 五、智慧场站安全生产与风险管理的实际应用

### （一）远程监控与智能预警

在智慧场站的安全生产与风险管理的实际应用中，远程监控与智能预警系统发挥着举足轻重的作用。借助物联网技术，智慧场站能够实现对风电设备的全面远程监控，无论设备身处何地，都能实时掌握其运行状态和各项参数。一旦设备出现故障或安全隐患，智能预警系统能够立即响应，通过数据分析判断故障类型和严重程度，并自动触发预警信号<sup>[9]</sup>。这不仅能够及时提醒管理人员采取应对措施，还能有效避免故障扩大化，降低事故发生的概率。远程监控与智能预警系统的应用，不仅提高了风电场站的安全生产水平，还使得设备管理更加智能化、高效化，为风电项目的可持续发展提供了有力保障。

### （二）数据分析与决策支持

智慧场站的安全生产与风险管理，离不开大数据技术的有力

支持。通过对风电场站的运行数据进行全面采集和深入分析，大数据技术能够揭示设备运行的潜在规律和故障趋势，为管理者提供科学、准确的决策依据。在安全生产方面，大数据技术能够实时监测设备的运行状态，预测可能发生的故障，并提前采取预防措施，确保设备的安全稳定运行。在风险管理方面，大数据技术则能够对风险进行量化评估，帮助管理者识别高风险区域和环节，制定针对性的风险管理策略。数据分析与决策支持的应用，不仅提高了智慧场站的安全生产效率和风险管理水平，还使得决策过程更加科学化、智能化，为风电项目的可持续发展注入了新的活力。

### （三）应急演练与培训

智慧场站的安全生产与风险管理，离不开员工的积极参与和有效应对。为此，定期组织应急演练和培训活动显得尤为重要。应急演练能够模拟真实的风险事件场景，让员工在接近实战的环境中熟悉应急处置流程和操作规范，提高其在紧急情况下的应变能力和协作水平。而培训活动则能够系统地提升员工的安全意识，使其深入了解风电场站的安全风险和防范措施，增强自我保护能力<sup>[10]</sup>。通过持续的应急演练和培训，智慧场站能够确保员工在面对风险事件时能够迅速、准确地采取行动，有效保障风电场站的安全稳定运行。这不仅是对员工个人能力的提升，更是对整个风电项目安全生产的重要保障。

## 六、结论

本文通过对风电项目智慧场站的安全生产与风险管理进行全面分析，得出了智慧场站在提高风电项目安全生产水平和风险防控能力方面的重要作用。未来，随着智能化技术的不断发展和完善，智慧场站将在风电项目中发挥更加重要的作用，为风电行业的可持续发展提供有力支持。

## 参考文献

- [1] 李智福. 海上风电施工安全管理分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2022, (12): 31-32.
- [2] 杜萍. 基于大数据的安全管理系统在燃气发电厂中的应用 [J]. 无线互联科技. 2018, (20).
- [3] 谭海龙, 安洪伟. 数字化发展下新能源场站智慧管控平台建设 [J]. 智慧中国, 2024, (08): 76-77.
- [4] 吕伟周, 王志强, 顾文豪. 浅析新能源场站的数字化、智慧化应用与管理 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (18): 67-69.
- [5] 彭飞, 尚斌. 新能源场站安全生产智慧管控系统 [J]. 企业管理, 2023, (S2): 212-213.
- [6] 吴勇, 李攀, 李自然, 等. 基于 BIM 的特高压换流站安全施工智慧管控系统设计 [J]. 电器工业, 2023, (11): 36-39+43.
- [7] 孔庆香, 卿子龙. 新能源智慧型远程集中管控系统的探讨 [J]. 东北电力技术, 2021, 42(12): 1-4+9.
- [8] 胡震, 张园园, 马飞. 基于云平台的新能源安全生产智慧管理 [J]. 企业管理, 2021, (S1): 384-385.
- [9] 付家安. 智能化燃气场站建设探究 [J]. 企业改革与管理, 2021, (06): 221-222. DOI: 10.13768/j.cnki.cn11-3793/f.2021.0630.
- [10] 李岩, 莫中秋, 李廷彦, 等. 北斗短报文在天然气场站安全监控管理中的应用 [J]. 城市燃气, 2020, (09): 30-33.

# 10 kV 及以下电力配网工程施工技术研究

李振华

国网黄石市供电公司大冶供电公司，湖北 黄石 435100

**摘 要：** 随着电力需求的增加和电力系统的复杂性提升，提升 10 kV 及以下电力配网施工技术成为重要课题。智能化、自动化技术在施工中的应用有效提高了施工效率、安全性和质量控制水平。通过智能调度、自动化设备和数据分析，施工管理得到优化，施工进度与资源分配更加精准。数字化管理和可视化监控系统增强了施工过程的透明度和可追溯性。未来，随着技术的不断发展，智能化和自动化将在配网施工中扮演更为重要的角色，推动电力配网建设的提质增效，并为电力系统的可持续发展提供有力支撑。

**关 键 词：** 电力配网；施工技术；技术优化；安全性；智能化

## Study on Construction Technology of 10 kV and Below Power Distribution Network Engineering

Li Zhenhua

State Grid Huangshi Power Supply Company Daye Power Supply Company, Huangshi, Hubei 435100

**Abstract：** With the increase of power demand and the improvement of the complexity of power system, it has become an important topic to improve the construction technology of power distribution network below 10 kV. The application of intelligent and automatic technology in construction has effectively improved the construction efficiency, safety and quality control level. Through intelligent dispatching, automatic equipment and data analysis, construction management is optimized, and construction progress and resource allocation are more accurate. Digital management and visual monitoring system enhance the transparency and traceability of the construction process. In the future, with the continuous development of technology, intelligence and automation will play a more important role in power distribution network construction, promote the quality and efficiency of power distribution network construction, and provide strong support for the sustainable development of power system.

**Keywords：** power distribution network; construction technology; technology optimization; security; intelligence

## 引言

传统的施工方法在高效性和安全性方面存在一定的局限性，无法满足日益增长的电力需求和系统稳定性要求。智能化和自动化技术的引入为电力配网施工提供了新的解决方案，提升了施工过程的精准性、效率和安全性。通过技术优化，施工管理、设备安装、质量控制等方面都实现了显著改进。未来，随着相关技术的持续发展，配网施工将进入一个更加高效、绿色、安全的新时代，推动电力系统的现代化建设。

## 一、当前 10 kV 及以下电力配网施工中的技术挑战

随着电力需求的不断增加和城市化进程的加快，电力配网的建设面临着越来越复杂的技术问题。电力配网施工需要在短时间内完成高质量的工程建设，同时保证电力供应的连续性和稳定性。然而，当前配网施工面临的主要技术挑战之一是施工环境的复杂性。很多配网工程分布在城乡结合部或者地下复杂的环境中，电力设备的安装与维护难度较大，常常受到气候、地形等因

素的制约。这些外部条件直接影响了工程的施工进度、质量和安全。在技术层面，传统的配网施工方法仍然占据主导地位，这些方法在面对新的技术要求时显得力不从心。例如，传统的线路安装和设备调试过程往往依赖人工操作，自动化程度较低，容易导致操作不当或人为失误，这不仅影响施工效率，也大大增加了施工的安全隐患。

施工现场常常存在设备老化、材料不规范等问题，这使得配网工程的施工质量无法得到有效保障。施工中还经常出现施工队伍

作者简介：李振华（1976.08-），男，汉族，中级职称，湖北省黄石市大冶市人，本科，研究方向：电力工程配电运检技术。



与设计图纸不符、沟通不畅等问题，这也直接影响了施工过程中的技术准确性与规范性。另外，配网施工技术的不断更新和升级要求施工人员具备更高的技术水平，但目前的技术人员培训体系尚不完善，部分施工队伍的技术人员缺乏现代化设备和技术的使用经验，导致施工过程中存在操作不规范、技术不到位等问题。

尤其是在新型智能化设备和自动化技术逐步应用到电力施工中的背景下，施工队伍的技术水平尚不能完全适应这一变化，造成了新技术的应用受限。随着智能化、自动化等新技术在电力配网中的逐步引入，虽然带来了施工技术的创新和提升，但同时也增加了对技术人员的要求。如何在保证施工质量和安全性的提升新技术的应用能力，成为当前电力配网施工中的另一个重大挑战。施工工艺的创新和技术设备的更新换代，也意味着施工过程的风险增加，对施工队伍的综合素质和管理能力提出了更高要求。解决这些技术挑战不仅仅需要技术上的创新，还需要对施工管理模式的优化和施工人员的全面培训<sup>[1]</sup>。

## 二、施工技术提升的必要性与实践意义

提升电力配网工程施工技术的必要性日益凸显，尤其在10 kV及以下电力配网工程中，技术水平的提升直接关系到施工质量、施工效率以及电力系统的稳定运行。随着社会经济的发展，城市化进程的加速以及工业化对电力的需求增大，电力配网不仅要满足更大范围和更高质量的供电需求，还需要面对电力系统运行的复杂性和突发事件的挑战。在这种背景下，传统的施工方法已无法有效应对新的需求和问题，施工技术的提升变得尤为迫切。施工技术的提升不仅有助于提高施工效率，缩短工程建设周期，也能够有效降低施工过程中的安全风险。配网工程涉及众多环节，从线路架设、设备安装到系统调试，每一个环节都要求精准的技术操作和规范的流程管理。

施工过程中，技术不到位可能会导致电力设备安装不符合要求、线路连接不稳定，甚至发生事故，进而影响电网的安全性。通过提升施工技术，能够在保证工程质量的减少人为失误和设备故障，提高系统的稳定性和可靠性。提升施工技术对于降低施工成本、提高资源利用率具有重要意义。在传统的施工过程中，因技术手段和设备更新滞后，施工难度较大，消耗了大量人力和物力。而通过采用先进的施工技术，如智能化调度、自动化控制和远程监控等，不仅可以有效减少施工时间，还可以优化资源配置，实现成本节约。尤其是在工程复杂的情况下，技术提升能够通过精确控制工程进度、优化施工方案，避免不必要的返工和浪费，从而在保证质量的前提下大幅降低整体工程费用<sup>[2]</sup>。

施工技术的提升还能够提高施工人员的操作水平，确保技术标准的统一性和规范性。随着电力行业技术的不断进步，新的施工设备和工艺相继出现，但这些新技术的有效应用离不开施工人员的掌握和熟练操作。在施工过程中，技术人员的素质和技能水平直接决定了施工效果。通过加强技术培训和提升施工技术，能够提升人员的技术能力，确保其能够灵活应对各种复杂情况，从而提高施工过程的安全性和操作精度<sup>[3]</sup>。

## 三、技术优化措施在配网工程中的应用与效果

在10 kV及以下电力配网工程中，技术优化措施的应用是提升施工质量、保障电力系统稳定性和提高施工效率的重要手段。随着智能化技术、自动化设备的逐步应用，技术优化已经成为配网工程中不可或缺的一部分。通过对现有施工技术和设备的不断优化，可以在多个方面取得显著的效果，尤其在施工进度、质量控制以及安全性方面，优化措施的成效尤为明显<sup>[4]</sup>。一项重要的技术优化措施是智能化调度系统的应用。在传统施工中，施工现场的调度往往依赖人工管理，信息传递和施工协调较为缓慢，容易造成施工计划的延误或资源的浪费。通过引入智能化调度系统，能够实时掌握施工进度、资源分配和设备使用情况，优化施工现场的管理。系统可以根据实际情况自动调整施工计划，合理安排人力、物力和设备的使用，避免了人工干预可能带来的误差和延误。这种优化不仅能够加快施工速度，也能够有效提高资源利用率，确保工程按期完成<sup>[5]</sup>。

除了智能化调度，自动化施工设备的引入也是技术优化的重要手段。自动化设备在配网施工中的应用，能够减少人工操作的复杂性和风险，同时提高施工精度。以自动化线路安装设备为例，这类设备能够在极短的时间内完成线路的架设和固定，大大提高了施工效率，减少了人工操作中的不确定性。自动化设备的应用还能够降低施工过程中的人员伤害风险，提高施工安全性。在高风险的施工环境中，自动化设备的替代作用尤为突出，它不仅减轻了人工操作的负担，还确保了施工的高效性和安全性。在技术优化的过程中，数据分析和远程监控也起到了不可忽视的作用。通过对施工现场的数据实时监测与分析，能够精确掌握施工过程中的各项关键参数，如电缆的拉力、设备的温度、湿度等环境因素<sup>[6]</sup>。

通过对这些数据的综合分析，可以提前发现潜在的施工风险，及时采取应对措施，避免事故的发生。远程监控系统的应用使得项目经理可以不在现场的情况下，也能够随时掌握项目的最新进展，做出快速决策，从而避免了因信息滞后或失误导致的施工问题。技术优化措施在施工质量控制方面的作用也尤为突出。通过优化施工流程和改进施工工艺，可以有效降低施工中的错误率和缺陷率。特别是在电力设备的安装与调试过程中，通过采用精密仪器和高精度技术，可以确保每一个环节都按照标准操作，避免因设备安装不当而引发的系统故障。优化后的施工技术能够减少施工中的材料浪费，确保材料使用的合理性和经济性，从而进一步降低工程成本<sup>[7]</sup>。

## 四、智能化与自动化技术在配网施工中的前景

智能化与自动化技术的引入正在深刻改变电力配网施工的方式与效率，尤其在10 kV及以下配网工程中，随着技术的不断进步，智能化和自动化施工的前景日益广阔。配网工程的施工过程不仅涉及大量的基础设施建设，还需要精密的操作和细致的管理。传统施工方式存在人工操作多、依赖性强、施工进度不可控等问题，而智



能化和自动化技术的应用正是为了解决这些问题，提升施工的精准度、效率与安全性。自动化施工设备的引入极大地提高了施工的精确性和操作的安全性。在过去的配网施工中，许多环节需要大量的人工劳动，如线路的架设、设备的安装等。人工操作不仅效率低，且容易出现操作误差，进而影响工程质量。

随着自动化设备的逐步普及，施工环节逐渐被自动化设备所替代，作业精度得到了显著提高，设备安装过程中的误差和事故大大减少。自动化设备能在恶劣环境下长时间作业，减少了人工暴露在高风险环境中的时间，提高了整体施工安全性。智能化技术的引入则带来了施工管理和决策过程的革新。在施工过程中，智能化调度系统、远程监控和数据分析技术能实时监控施工进度、设备状态、环境变化等信息。通过大数据分析，施工管理人员可以精准掌握现场的每一个施工环节，及时做出调整和优化。在配网施工中，工程复杂度和不确定性较高，智能化技术能够大幅减少人为失误，提高决策的效率和准确性。施工进度和资源调度也可以通过智能化系统进行优化，确保各项任务按时完成，避免了工程延误和成本超支<sup>[8]</sup>。

智能化技术的应用实现了施工过程的全面可视化与可追溯，所有施工数据和进度都能实时监控，确保项目管理的透明性。施工人员和管理者可以随时调整施工方案，提高效率，并为后期维护和检修提供数据支持，增强系统的可维护性与可靠性。随着物联网、人工智能和机器学习的发展，智能化与自动化技术将在电力配网施工中发挥更大作用，提升施工精度与灵活性，缩短周期、降低成本。

## 五、提升电力配网施工技术的未来发展方向

随着电力需求的不断增加和电力系统复杂性的提升，电力配网施工技术的未来发展方向将围绕智能化、自动化、数字化和绿色低碳等多方面进行深入探索。未来，提升配网施工技术不仅是提高施工效率和质量的需要，更是推动电力行业现代化和可持续发展的关键。智能化技术在未来配网施工中的应用将更加广泛和深入。随着大数据、人工智能、物联网等技术的不断进步，配网施工将实现更加精细化的管理与调度。通过数据分析和预测，施

工过程中的每一个环节都可以得到精准监控，从而提前预见到潜在问题，避免施工中的意外风险。施工人员通过智能系统提供的实时反馈，可以更有效地调整施工计划，合理配置资源，减少人力物力的浪费<sup>[9]</sup>。

智能化系统也能够提高施工安全性，通过监测施工环境、设备状态以及人员行为，及时发现安全隐患并进行干预，确保施工的顺利进行。自动化施工设备将在配网工程中占据越来越重要的地位。自动化设备能够提高施工精度，减少人为操作失误，并显著缩短施工周期。随着新型材料、机器人技术以及自动化控制技术的进步，配网施工中的很多环节将逐步实现无人化作业，特别是在高风险和复杂环境下，自动化设备的应用将大大减少人工操作的危险性，提高施工过程的安全性和可靠性。自动化施工设备还能够通过精密的控制系统，精确执行施工任务，减少错误和返工，提高整体施工质量。数字化和信息化将成为提升配网施工技术的另一重要方向<sup>[10]</sup>。

数字化技术的应用可以让整个施工过程进行信息化管理和监控，通过云计算平台、物联网技术以及智能终端设备，将施工过程中的每个环节、每项数据实时上传和处理。施工管理人员可以通过数字化平台随时查看施工现场的情况，实时监控项目进度、资源使用、人员配置等信息，确保施工过程的高效和有序。数字化技术还可以为后期的维修、升级和优化提供精准的数据支持，极大地提高电力配网的运营效率和可靠性。环保和低碳理念也将在未来的配网施工中扮演重要角色。

## 六、结语

电力配网工程施工技术的提升在保障电力系统稳定运行和满足日益增长的电力需求方面具有重要意义。通过引入智能化、自动化、数字化等先进技术，不仅能够提高施工效率和精确度，还能有效提升施工安全性和质量控制水平。未来，随着技术的不断发展，电力配网施工将更加高效、绿色和可持续。智能化调度系统、自动化设备、数字化管理等创新技术的广泛应用，将推动电力配网施工进入一个全新的时代，为电力系统的现代化建设提供强有力的支持，并为节能减排和低碳发展做出贡献。

## 参考文献

- [1] 高新, 王利. 10 kV 及以下电力配网工程施工中的关键技术分析 [J]. 电力系统自动化, 2023, 47(5): 98–105.
- [2] 李瑞, 周宁. 电力配网工程施工中的质量控制与技术创新 [J]. 电力工程技术, 2022, 39(4): 56–63.
- [3] 张杰, 杨伟. 基于智能化技术的电力配网施工技术研究 [J]. 电力建设, 2023, 29(6): 112–118.
- [4] 赵明, 陈涛. 10 kV 电力配网施工中的安全管理技术研究 [J]. 电力安全技术, 2021, 25(3): 47–54.
- [5] 刘峰, 陈洁. 10 kV 及以下配网施工技术的优化与实践 [J]. 电力设备与自动化, 2024, 31(2): 123–130.
- [6] 李军. 电力配网架空线路工程施工技术及优化探析 [J]. 电力设备管理, 2024, (18): 241–243.
- [7] 刘建伟. 电力配网架空线路工程施工技术优化研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(05): 40–42.
- [8] 赵晓峰. 电力配网架空线路工程施工技术研究 [J]. 中国高新科技, 2020, (23): 66–67.
- [9] 李灵姣. 10 kV 配网电力工程的相关施工技术问题及对策 [J]. 科技资讯, 2022, 20(14): 41–43.DOI:10.16661/j.cnki.1672–3791.2201–5042–7847.
- [10] 王磊. 配网电力工程的技术问题分析与施工安全措施 [J]. 中小企业管理与科技, 2022, (01): 163–166.

# 智能电网技术在电力营销中的应用与前景

张帆

国网和顺县供电公司, 山西 晋中 030600

**摘 要：** 伴随世界范围内能源结构的转换及电力领域的数字化提升，智能电网技术在电力营销领域的运用逐渐普及。本文深入剖析了智能电网技术在增进能源利用效率、完善客户服务质量、推动分布式能源与微电网进步以及电力市场革新方面的实际运用情况。同时，文章也对智能电网技术在电力营销未来应用的趋势进行了展望，涵盖了技术进步路径、电力营销模式的演变展望以及其与可持续能源结合的潜在发展。本研究致力于为推进电力营销的发展提供相关参考。

**关 键 词：** 智能电网技术；电力营销；应用分析；发展前景

## Application and Prospects of Smart Grid Technology in Electric Power Marketing

Zhang Fan

Guo Wang Heshun County Power Supply Company, Jinzhong, Shanxi 030600

**Abstract：** With the transformation of the global energy structure and the digital upgrade in the power sector, the application of smart grid technology in the field of power marketing is gradually becoming widespread. This article deeply analyzes the practical application of smart grid technology in improving energy utilization efficiency, improving customer service quality, promoting the progress of distributed energy and microgrids, and innovating the electricity market. At the same time, the article also looks ahead to the future trends of smart grid technology in power marketing, covering technological advancement paths, the evolution of power marketing models, and the potential development of its combination with sustainable energy. This study aims to provide relevant references for advancing the development of power marketing.

**Keywords：** smart grid technology; electric power marketing; application analysis; development prospects

## 引言

在现阶段，随着全球范围内能源结构转变与数字化进程的不断推进，智能电网技术日益凸显，逐步成为电力领域创新变革的核心动力。该技术不仅显著增强了电力网络的运营效能与稳定性，同时也为电力市场的进一步开放和竞争注入活力，为电力营销领域带来了一系列崭新的发展机遇以及相应的挑战。

## 一、智能电网技术概述

### （一）智能电网技术的发展历程

智能电网这一概念的发展，其根源可追溯至二十世纪末期，电力系统初步尝试融合自动化技术，旨在提高其运作的效率与可靠性。踏入二十一世纪初始，信息技术的迅猛进展为智能电网的构想奠定了基础，其本质是借助高阶的通讯、信息处理与控制技术，推动电网管理向智能化迈进<sup>[1]</sup>。在2000年代的中段，美国能源部正式揭幕了智能电网的示范工程，这一举动的背后标志着该技术正式步入快速成长的轨道。随后，全球范围内诸多国家也相继启动了智能电网的规划与实施，目的是应对能源挑战，提升电网的稳定性与效率并推动可再生能源的广泛融合。

### （二）智能电网的关键技术

#### 1. 高级计量基础设施（AMI）

在智能电网的架构中，关键的促成技术当属高级计量基础设施（AMI），其核心功能在于促成供电端与用户端之间的互动式交流。该基础设施融合了多个技术要素，包括智能电表、数据管理系统以及高效的通信网络等。借助智能电表能够即时捕获消费者的电力消费模式，并确保这些宝贵数据通过加密的通道安全地传递至电力供应商及消费者手中<sup>[2]</sup>。这一机制不仅提升了电力企业对电网负荷的精细化管理能力，也使用户得以深入洞察自家的能耗状况，促进了对需求侧的智能化管理。

#### 2. 分布式能源资源管理

在管理分布式能源资源的过程中，关键在于将诸如太阳能光

光伏板、风力发电以及微型水力发电等微型发电装置进行系统整合与调控。借助智能电网中采用的尖端控制与优化策略能够对这些分散的资源进行有效协调，保障其在电网系统中的运作既高效又稳定。此举极大提升了能源转换效率，同时减轻了对传统大型发电站的依赖性，达到了减少碳排放的环保目的<sup>[3]</sup>。

### 3. 需求响应技术

在智能电网的运作机制中，需求响应技术扮演着重要的角色，其主要功能在于调节电力供需的动态平衡。在这一技术的助力下，供电企业得以引导消费者在电网负载达到峰值时降低能耗，而在负载低谷时适当提升用电量。此过程多借助电价变动信号或对用户端设备如空调、热水器等的直接调控来完成。此种技术的运用显著提升了电网运行的灵活性与稳定性，有效降低了整个电力系统运营的经济成本。

### 4. 电网自动化与控制技术

智能电网的运转离不开电网自动化与控制技术的支撑，这一技术贯穿于电力输送至分配的整个链条之中。借助于部署的传感器、智能型开关以及远程监控装备，得以对电网的实时动态进行精准监控与调节。运用尖端的控制策略和决策辅助系统，电网的运行参数可自主适应，有效应对诸如设备故障、气候突变以及负载波动等突发状况<sup>[4]</sup>。此举增强了电网的稳定性和可靠性，同时也为大规模集成可再生能源技术提供了坚固的技术依托。

## 二、智能电网技术在电力营销中的应用

### （一）提高能源效率与需求侧管理

#### 1. 实时电价与需求响应

信息技术的尖端应用在电力领域催生了智能电网技术，它使得电力网络的管理迈入了智能化时代。在该技术的众多亮点中，尤为突出的是电价的灵活实时变动功能，借助动态定价策略，电力供应商得以依据供需的即时变化来调整电价，进而指导消费者恰当地选择用电时段。当电价处于较低谷时，消费者倾向于加大用电量，如启动洗衣机等电力消耗较大的家电；相对地，在电价飙升的峰值期，他们会主动削减非必要用电，以减少电费的开支<sup>[5]</sup>。这一需求响应策略不仅促进了能源的节约也助力电网运营商实现负荷均衡，缓解了高峰期的供电压力。

#### 2. 能效服务与节能咨询

借助尖端的感测技术、通讯网络以及数据解析工具，智能电网技术极大地提升了用户对能源消费的洞察力，实现能源使用的全新透明度。消费者得以实时捕捉并审视自家用电状况，得益于智能电表与家庭能源管理系统的辅助，他们能够精准识别耗电高的设备与高峰时段并据此实施有效的节能策略。同时，电力供应商在体系中扮演关键角色，不仅构建了智能电网的基础架构，更推出了多样化的能效服务。这些服务涵盖了节能咨询、设备改良建议以及定制化的节能计划，极大助力用户在日常生活中的能源节约。技术还赋能了需求响应管理，通过电价的灵活调整，鼓励用户在需求低谷期使用电力，这一策略显著提升了能源的分配与使用效率<sup>[6]</sup>。

### （二）优化客户服务与互动

#### 1. 个性化服务与客户参与

借助精密的感测设备、高效的信息传递网络以及先进的数据解析手段，智能电网得以即时地汇聚并剖析电力系统产生的庞大数据流。其中的信息不仅涉及消费者电力消耗量，也扩展至具体的用电时刻、设备种类等细节。基于这些丰富数据，供电企业得以洞察消费者的用电模式与习性并据此推出更贴切和高效的服务方案。例如，企业可依据消费者用电的峰谷差异，制定出富有弹性的电价策略，激励消费者在需求低谷时段增加电力使用，以实现电网负荷的均衡。同时，该电网智能平台也能向用户传授节电策略，助力他们在家庭或商业用电中实现优化，减少不必要的浪费并降低费用<sup>[7]</sup>。消费者通过该平台能实时追踪自身用电状况，还能主动介入电力消费的决策。

#### 2. 互动式平台与社交媒体的运用

智能电网这一技术的融入标志着电力领域经历了一场划时代的转型，它不仅极大提高了电网的运作效能，更赋予用户以空前的参与感和互动机会。借助互动平台的搭建，用户得以实时把握自身的用电状况，获取电价资讯并接受定制化的节电指导。这种高度透明与掌控感的提升，使用户在管理自身能源使用上变得更加积极，进而促进了能源节约与电费降低。社交媒体的介入深化了用户与电力企业间的交流，企业能在此类平台上推广能源效率知识、市场动态、紧急讯息等，实现了信息的快速广泛传播。用户能在此发声，提出疑问、反馈意见或交流节能心得，构建起一个互动性强的社区<sup>[8]</sup>。

### （三）促进分布式发电与微电网的发展

#### 1. 分布式发电的市场机制

在促进分散式能源产出的进程中，智能电网技术扮演了重要的角色，其依托尖端的通信与自动化技术，为太阳能和风能等绿色能源的利用和接入提供了强有力的技术保障。该技术能够对电网的运作状况进行即时监管与控制，有效优化分散式能源的分配，显著提升能源使用效率及供电的稳定性。推动分布式发电的深入发展亟需构建一个完善的市场体系，政府可通过补贴和税收减免等激励策略，降低发电项目成本，吸引广泛的投资与参与。智能电网提供需求响应服务，利用价格信号引导用户在低需求时段用电，以此平衡供需，减少不必要的能源消耗。

#### 2. 微电网的商业模式与运营策略

微电网在智能电网体系中占据核心地位，借由诸如虚拟电厂和能源互助等新颖的商业运作模式，能够推动特定区域的能源自主与自给。这一系统不仅确保了用户端电力供应的稳定性与信赖度，同时也为电力企业开辟了崭新的盈利途径。得益于智能电网技术的融入，微电网得以高效运转对能源的配置与应用进行优化，显著提升了经济收益<sup>[9]</sup>。例如，借由对电力供应的实时监控与数据分析，微电网能灵活调节以迎合用户多样性需求，同时有效降低能源消耗。微电网的运行还融入可再生能源，如太阳能与风能，这进一步削减了运营成本并减轻了对传统能源的依赖。

### （四）电力市场改革与智能电网技术的融合

#### 1. 电力市场结构的调整

随着智能电网技术的迅猛进步，电力产业的传统运营范式正



在经历一场根本性的重塑，这一变革催生了电力市场向结构性的改革迈进。电力市场需趋向开放性与竞争性，打破长久以来的垄断局面并吸纳诸如分布式能源供应商和终端用户等多元参与主体。此举不仅会提升市场运作效率，还将激发创新活力并促使电价下降。市场结构调整应容纳分布式能源，例如太阳能与风能，简化其接入电网的流程，并允许其参与市场交易，此举将促进可再生能源的利用率，减少对传统化石燃料的依赖性。市场必须推出更为灵活与多元的电力产品与服务，迎合各式用户需求，涵盖实时电价定价、需求响应服务以及定制化能源管理方案等，以此全面提升电力系统的效率与可靠性<sup>[10]</sup>。

2. 交易机制的创新与智能电网技术的结合

结合了智能电网技术与电力市场运作机制，电力交易领域经历了前所未有的变革。依托于对实时数据的采集与分析能力，智能电网有效输出了精准的市场情报，为市场主体的决策提供了有力支撑。例如，该技术能够对电力供需状况进行即时监控并对价格波动进行预判，进而指导发电企业与消费者在电力交易中更为高效地操作。智能电网助力了新型交易方式的兴起，包括需求侧响应交易与分布式能源交易等。这些交易模式让消费者得以依据电价波动调整用电行为，助力电网负荷的均衡，同时也促进了如太阳能和风能等小型发电设施的电力交易，显著提升了能源利用的整体效率。

三、智能电网技术在电力营销中的应用前景

（一）技术发展趋势与创新方向

随着物联网技术的日益成熟，可以预见到智能电网技术将迎来几大发展动向：首先是电网设施之间的互操作性将大幅增强，显著提高能源的分配与管理效率。其次是，大数据的深入分析与人工智能技术的深度融入，将进一步推动电网运作的智能化，能够前瞻性地预测用户需求与电网运行状态，进而优化供电与需求的匹配。区块链技术的融入预计会增强电力交易的公开性与安全性，助力分布式能源与微电网体系的融合。最终，5G 通信技术的广泛应用将极大提升电网的实时监控与反应能力，为电力市场的营销活动提供更加迅速与精确的数据支撑。

（二）电力营销模式的未来变革

在即将到来的电力销售范式的转型浪潮中，变革的核心将集中表现在几个关键领域。个性化服务的兴起，借助智能电网对用户能耗数据的精准收集，供电企业将有能力推出更为量身定做的电力量产与服务。顾客体验将受到前所未有的重视，借助先进的智能设备和便捷的移动应用，消费者能够随时掌握自身用电状况，自由挑选适合自己的电费套餐，乃至直接参与电力买卖的环节。市场竞争的激烈与电力市场的逐步开放将推动营销行为更加趋向市场导向，供电企业须依靠创新的营销策略和服务质量的提升来招揽及维系客户群体。智能电网技术的进步将催化电力营销与网络技术的深度整合，塑造出一种融合线上互动与线下服务的创新营销新格局。

（三）智能电网与可再生能源的融合

在能源发展的宏伟蓝图之中，将智能电网与可再生能源结合已成为不可逆转的潮流。智能电网具备独特的优势，能将风能、太阳能等纳入怀抱，借助尖端预测与调度手段有效调适这些能源的波动性与不确定性，进而保障电力网络的平稳运作。智能电网的交互式通讯功能为分布式发电系统提供了灵活接入的可能，使用户在电力消费之余能扮演生产与供给的角色，促成能源在供需之间的互动循环。依托于智能电网的高效管理，可再生能源的使用效率得以提升，对化石能源的依赖降低，推动了能源结构的绿色变革。此融合将催生能源互联网的进步，构筑起一个更加透明、效率化、可持续的能源生态体系。

四、结语

综上所述，智能电网技术这一电力系统革新的核心要素，正逐步重塑电力营销的整体面貌。它通过提高能源利用效率、改善客户体验、激发分布式能源与微电网的潜能以及推进电力市场的变革，为电力营销领域带来了史无前例的发展机遇。技术持续的发展和创新的步伐预示着智能电网将更加紧密地与可再生能源结合，进而促进电力业的持续发展。从长远来看，智能电网技术在电力营销的运用具有无限潜力，预计将为电力公司开拓新颖的商业模式与服务手段，并向消费者提供更高效、更便捷以及更个性化的电力服务体验。

参考文献

[1] 廖然, 敬兴东. 智能电网视域下电力营销信息化建设的研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64 (S2): 234-235+238.  
[2] 王娟. 基于智能电网背景的电力营销信息化建设研究 [J]. 电工技术, 2023, (S1): 16-18. DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.25.006.  
[3] 张深伟, 夏丹. 智能电网背景下信息化应用于电力营销管理的有效策略 [J]. 电工技术, 2023, (S1): 213-215. DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.25.074.  
[4] 曹洪峰. 智能电网环境下电力设备营销的优化设计分析 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, (S1): 127-128+131. DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2023.0857.  
[5] 彭知君. 基于智能电网的电力营销信息化技术应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40 (11): 280-281. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.11.128.  
[6] 成的, 胡娜. 智能电网下电力营销信息化技术对供电企业的影响研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2023, 35 (20): 7-9.  
[7] 徐盈盈. 智能电网技术背景下电力营销模式设计与应用研究 [J]. 营销界, 2019, (42): 207+209.  
[8] 王秋洁. 智能电网技术背景下电力营销模式设计与应用研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2018.  
[9] 黄冠宇, 王晓岩, 刘晓洪. 智能电网技术在用电营销中的应用 [J]. 科技风, 2016, (08): 167. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.2016.08.148.  
[10] 胡博. 基于智能电网的电力营销模型及关键技术的研究 [D]. 华北电力大学, 2013.



# 电气工程中新能源并网技术与电网适应性研究

郝浚玮

国家电投集团综合智慧能源有限公司，北京 100000

**摘要：** 能源转型和“双碳”目标驱动下，大规模新能源并网接入对电网安全稳定运行带来严峻挑战。电网在新能源消纳能力、运行灵活性等方面亟待加强，迫切需要突破关键技术瓶颈，创新适应性控制策略，完善适应性评估体系。本文聚焦风电、光伏、微电网等新能源并网，深入探讨关键并网控制技术、电网韧性提升策略、源网荷储协同优化新模式，构建多层次、多场景、多时间尺度的并网适应性评估体系。研究成果可为提升电网消纳新能源能力、推动能源电力绿色低碳转型提供有益参考，对于加快构建以新能源为主体的新型电力系统、实现“3060双碳”战略目标具有重要意义。

**关键词：** 电气工程；新能源并网；电网适应性；评估方法

## Research on New Energy Grid Connection Technology and Grid Adaptability in Electrical Engineering

Hao Junwei

State Power Investment Corporation Integrated Smart Energy Co., Ltd. Beijing 100000

**Abstract：** Driven by energy transformation and the "dual carbon" goal, large-scale integration of new energy into the grid poses severe challenges to the safe and stable operation of the power grid. The power grid urgently needs to strengthen its capacity for new energy consumption and operational flexibility, break through key technological bottlenecks, innovate adaptive control strategies, and improve the adaptive evaluation system. This article focuses on the integration of new energy sources such as wind power, photovoltaics, and microgrids into the grid. It delves into key grid control technologies, strategies for improving grid resilience, and new models for optimizing source grid load storage coordination. It constructs a multi-level, multi scenario, and multi time scale grid adaptability evaluation system. The research results can provide useful references for improving the power grid's ability to absorb new energy and promoting the green and low-carbon transformation of energy and electricity. It is of great significance for accelerating the construction of a new power system with new energy as the main body and achieving the "3060 dual carbon" strategic goal.

**Keywords：** electrical engineering; new energy grid connection; grid adaptability; evaluation method

## 引言

随着“双碳”目标的提出，加快发展风电、光伏等新能源已成为全球能源变革的主旋律和大势所趋。新能源的大规模开发利用对促进能源电力绿色低碳转型、应对气候变化挑战具有重要战略意义。然而，新能源并网也给电网规划建设、运行控制、市场机制等方面带来巨大挑战。传统电网在新能源消纳能力、系统灵活性、动态特性等方面还存在诸多短板，亟需加强技术创新，完善体制机制，切实提升电网对高渗透率新能源接入的适应性。

## 一、新能源并网关键技术研究

### （一）风电并网控制技术

风电并网技术作为新能源发电领域的重要组成，其控制系统主要包括机组层与场站层两大控制架构。机组层面通过变桨距控制、发电机扭矩和变流器控制系统实现风机的最大功率跟踪和电网适应性控制<sup>[1]</sup>。其中，变桨距控制通过调节叶片角度优化风能

捕获效率，变流器控制则确保并网电能质量并提供电网支撑能力。场站层面采用集中协调控制策略，综合风电场功率预测、AGC调节控制和无功电压控制等技术，实现风电场的统一调度管理。在电网故障工况下，通过低电压穿越控制和虚拟同步机技术增强风电系统的电网适应性<sup>[2]</sup>。此外，基于风电功率预测和储能系统的联合优化控制可有效提升风电场的调度性能，为大规模风电并网提供技术支撑。

作者简介：郝浚玮（1991.10-），男，汉族，山东省烟台市，本科，工程师，研究方向：电气工程、清洁能源投资行业。

## （二）光伏并网控制技术

光伏并网控制技术主要围绕逆变器控制系统展开，核心技术包括最大功率点跟踪控制和并网逆变控制。MPPT控制通过改进电导增量法和扰动观测法，提高系统对光照和温度变化的适应能力<sup>[3]</sup>。并网逆变控制采用电流双闭环控制策略，实现电网电压定向控制，保障并网点电能质量。光伏电站层面采用集中式控制架构，结合功率预测技术和储能系统，实现电站的功率平滑控制和调峰能力。在电网故障情况下，通过改进的低电压穿越控制算法和无功注入策略增强系统适应性。此外，基于智能优化算法的多逆变器协调控制方法可提升光伏电站的运行性能，为大规模光伏发电接入电网奠定技术基础。

## （三）微电网并网运行与控制

微电网并网运行控制主要解决分布式电源与配电网的协调运行问题。其控制架构采用层级化设计，包含能量管理系统和电力电子变流器控制系统。能量管理系统基于分层优化算法实现微电网经济调度，通过负荷预测和可再生能源出力预测优化系统运行方式<sup>[4]</sup>。变流器控制采用改进的下垂控制和虚拟同步机技术，实现多电源的功率均衡分配和电网支撑特性。在并离网切换过程中，基于同步相位控制和虚拟阻抗控制方法保障系统平滑切换。此外，微电网通过配置储能系统和需求侧响应技术增强系统灵活性，改进的协调控制策略可提升微电网群的整体运行效能，为构建新型电力系统提供技术支撑。

# 二、提升电网适应性的策略方法

## （一）基于柔性互动的新能源并网控制策略创新

随着新能源发电占比不断提升，电源侧与电网侧、负荷侧的互动日益频繁。传统电网调控模式难以适应新能源波动性和间歇性特征，亟需创新并网控制策略，构建柔性互动机制，提升电网对新能源扰动的主动适应能力。基于虚拟同步机、智能逆变控制等技术的电源侧柔性控制方法，可赋予新能源一定的电压频率调节能力，模拟同步机特性，主动参与电网运行控制<sup>[5]</sup>。同时，主动配电网规划与运行控制策略通过优化配电网拓扑结构和潮流分布，利用柔性交流输电、软开关等技术灵活控制新能源接入点，增强系统应对新能源不确定性的适应能力。此外，耦合需求响应的源-网-荷-储协调控制为提升新能源消纳水平提供了新思路。通过优化需求侧资源配置，引导负荷曲线与新能源出力特性相匹配，构建多方互利共赢的能源利用新模式。

具体而言，在变频风电机组并网控制中，可引入虚拟同步机控制策略，通过模拟同步发电机的转子运动方程和励磁系统，使风电机组具备一定的频率和电压调节能力，在电网频率或电压偏离额定值时，风电机组可通过调整有功和无功输出，参与系统一次调频和无功电压控制，增强风电场的电网适应性。类似地，在光伏逆变并网环节，可采用基于改进下垂控制的智能逆变控制策略，根据光伏电站的运行状态和电网需求，动态调整逆变器的有功-频率和无功-电压控制参数，实现光伏电站的平滑并网和无功支撑<sup>[6]</sup>。在配电网层面，可综合考虑新能源接入规模、地理分

布特点和负荷需求，优化配电网的规划设计和运行方式。通过合理配置柔性交流输电设备，采用软开关拓扑结构，匹配新能源发电的反向潮流需求，提高配电网对分布式新能源接纳能力。在需求侧，可通过需求响应聚合商有效整合工商业用户和居民用户的可调负荷资源，结合电价激励等措施引导负荷特性与新能源出力曲线相匹配，削减新能源出力波动对电网的不利影响，形成源-网-荷-储多方互动的能源消纳新范式。

## （二）面向新能源并网的电网韧性提升技术

新能源出力的波动性和间歇性特征加剧了电网面临的不确定性风险，传统电网规划和运行控制方式难以适应高渗透率新能源场景下的复杂态势。为应对新能源并网接入的冲击，提升电网的内生抗扰能力和快速恢复能力，亟需开展面向新能源并网的电网韧性提升技术研究<sup>[7]</sup>。电网韧性提升应从电网规划、实时控制与在线分析三个层面系统展开。在规划阶段，需要创新适应高比例新能源接入的电网韧性规划理念和方法；在运行阶段，需要构建适应新能源波动特性的电网韧性控制系统；在评估阶段，需要发展支撑多时间尺度韧性决策的暂态稳定性在线分析技术。三位一体，多管齐下，才能全面提升电网应对新能源并网扰动的韧性水平。

电网韧性规划需要充分考虑新能源接入的不确定性影响，在场景生成、指标体系、评估方法等方面进行创新，形成涵盖网架规划、电源配置、潮流优化的多层次、多角度的韧性规划决策框架，指导构建适应新能源不确定性特征的强韧性电网。在实时控制方面，可研究基于广域监测的智能感知技术，实现对新能源运行状态和电网安全水平的动态评估；针对电网暂态特性变化，优化改进基于柔性交流输电、新型储能、智能可控负荷的协调控制策略，快速抑制新能源扰动对电网的影响<sup>[8]</sup>；探索人工智能、大数据分析等前沿技术在韧性控制中的应用，提高电网应急控制和自愈恢复的智能化水平。在稳定性分析方面，应加强新能源并网条件下的暂态特性机理研究，研发多时间尺度、多物理场耦合的电网韧性评估模型，构建支持毫秒级决策的在线分析系统，为电网韧性控制提供可靠依据。同时，通过仿真验证和工程应用不断完善评估体系，提升分析结果的精度和可解释性。

高渗透率新能源并网背景下，电网韧性已成为影响电力系统安全运行的关键因素。电网规划、实时控制和稳定性分析是提升电网韧性的三大支柱，需要统筹创新，形成联动机制<sup>[9]</sup>。在理念、模型、控制、评估等多个方面进行技术创新和工程实践，对增强电网应对新能源冲击的适应性，夯实新能源高质量发展的技术基础，具有重要意义。

## （三）构建新能源主导型能源系统的运行控制新范式

构建新能源主导型能源系统是应对气候变化、推进能源转型的战略选择。高比例新能源渗透将引发能源系统形态结构、功能属性和时空演化规律的深刻变革，电源侧、电网侧、负荷侧呈现出全新的交互耦合特征，给传统电力系统规划、运行、调度、交易等环节带来严峻挑战。亟需从能源生态系统的全局视角，超前谋划适应新能源主导型能源系统的运行控制新模式，着力打造物理系统与数字系统融会贯通的能源系统运行控制新范式，多层

次、多维度提升电网在新形势下对高渗透率新能源的消纳和适应能力，为加快建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系提供坚强技术支撑。

在运行控制技术层面，应面向能源系统多能流深度耦合的复杂演化规律，探索构建风-光-储-荷-网协同优化运行的新机制。一方面，可综合利用热力、燃气等多种能量形式，通过能量路由技术实现跨区跨域能源优化配置；另一方面，可研究风光水火多能互补的协同优化调度策略，匹配新能源出力暂态变化，平抑电网负荷波动，提升电网对新能源扰动的鲁棒性和韧性。同时，应立足电-气-热-冷多能流融合的负荷需求侧响应潜力，构建多能耦合需求侧管理新模式。在体制机制创新上，应顺应分布式能源高度分散接入的新趋势，积极培育新型市场主体，探索建立多元用户参与的分布式能源交易新机制、灵活性服务市场和碳排放权交易市场，为广大市场成员创造公平竞争、互利共赢的市场环境。此外，可探索搭建能源互联网交易平台，促进分散式新能源、微电网、分布式储能、电动汽车等群体性资源的自由交易，形成灵活开放、多层互动的交易市场新格局。

### 三、新能源并网电网适应性评估

新能源并网电网适应性评估对于量化分析新能源接入对电网的影响、指导电网规划建设与运行管理具有重要意义<sup>[10]</sup>。评估工作应兼顾新能源发电侧、并网侧和电网侧三个层面，构建科学合

理的评估指标体系和评估方法。针对风电并网，重点关注并网点电压、谐波、频率稳定性等指标；对于光伏并网，着重分析逆变器电流畸变率、直流分量等指标。评估宜采用仿真分析与工程实测相结合的方式，提高评估可靠性。

从系统层面出发，应构建多场景、多时间尺度、多维度的综合评估体系，分析评估新能源并网对电网潮流分布、阻尼特性、事故稳定性、频率特性等的影响。评估过程中，应充分利用人工智能、大数据分析等新技术手段，形成数据驱动的智能评估模型和知识图谱。通过不断完善的工程实践，形成科学合理、行之有效的适应性评估方法，为提升电网对新能源接纳能力提供坚实支撑。

### 四、结束语

综上所述，新能源规模化高质量并网是建设清洁低碳、安全高效现代能源体系的关键任务。本文聚焦新能源并网与电网适应性问题，在梳理风电、光伏、微电网等典型新能源并网关键技术的基础上，提出了多层面、多维度提升电网适应性的策略方法，构建了兼顾发电侧、并网侧、电网侧的并网适应性综合评估体系，以期为提升电网消纳新能源能力、推动能源低碳转型贡献智力。未来还需进一步突破制约新能源并网发展的核心技术瓶颈，深化“源网荷储”融合创新，打造多能互补的协同优化格局；持续完善新能源消纳的体制机制和政策体系，健全电力现货市场和辅助服务市场，为新能源高质量发展营造良好的制度环境。

### 参考文献

- [1] 池立勋, 黄龔, 郝迎鹏, 等. 新能源接入下油田电网适应性改造技术方案 [J]. 石油科技论坛, 2024, 43(1):71-77.
- [2] 刘浩宇. 储能变流器电网适应性控制策略研究 [D]. 北方工业大学, 2023.
- [3] 卢正飞, 蒋焱, 黄福全, 等. 含分布式新能源高压电网的新型线路保护方案 [J]. 南方电网技术, 2024(3).
- [4] 周力. 新能源电网接入中的土建工程问题探讨 [J]. 居业, 2024(4):190-192.
- [5] 马坤. 电力土建工程质量风险防范要点探讨 [J]. 建材与装饰. 2020,(16).
- [6] 李宁, 安卓尔, 张世乾, 等. 弹性电网关键技术研究的进展与展望 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(1):8-16.
- [7] 童豪. 基于无锁相环直接功率控制的双馈风电并网运行控制技术研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [8] 余锐, 王兴国. 提高复杂电网输电通道继电保护装备灵敏性和适应性的关键技术 [J]. 科技成果管理与研究, 2022(2):74-75.
- [9] 耿志晨. 高渗透率新能源接入情况下无功电压控制策略研究 [D]. 华北电力大学(北京), 2022.
- [10] 许朝阳, 阮文骏, 肖楚鹏, 等. 支撑负荷侧资源柔性调控的新型电力负荷管理系统研究 [J]. 电力需求侧管理, 2022(005):024.

# 基于泛在电力物联网的风电运维管理技术探索

曹玲燕

国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211100

**摘 要：** 风电运维对于保障风电场稳定运行和提高经济效益至关重要。然而，当前风电运维管理面临专业技术人员短缺、运维成本高昂以及运维策略不合理等问题。为了解决这些挑战，基于泛在电力物联网的风电运维管理技术应运而生。该技术通过感知层技术的应用，实现对风电设备状态的实时监测；借助网络层技术的支持，实现数据的可靠传输与共享；利用平台层技术的管理，提供智能化的运维决策与优化方案。这一技术探索为风电运维管理带来了全新的解决方案，有望推动风电运维向更高效、更智能的方向发展。

**关 键 词：** 泛在电力；风电运维；管理技术

## Exploration of Wind Power Operation and Maintenance Management Technology Based on Ubiquitous Power Internet of Things

Cao Lingyan

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 211100

**Abstract：** Wind power operation and maintenance (O&M) is crucial for ensuring the stable operation of wind farms and improving economic benefits. However, current wind power O&M management faces challenges such as a shortage of professional technicians, high O&M costs, and unreasonable O&M strategies. To address these challenges, wind power O&M management technology based on the ubiquitous power Internet of Things (UPIoT) has emerged. This technology realizes real-time monitoring of wind turbine equipment status through the application of the perception layer, relies on the support of the network layer for reliable data transmission and sharing, and leverages the management capabilities of the platform layer to provide intelligent O&M decision-making and optimization solutions. This technological exploration brings new solutions to wind power O&M management and is expected to drive wind power O&M towards more efficient and intelligent development.

**Keywords：** ubiquitous power; wind power operation and maintenance; management technology

近年来，随着风电产业的快速发展，风电场运维管理面临诸多挑战，如运维成本高、专业技术人员短缺、设备故障预测能力不足等。泛在电力物联网作为新一代信息技术与传统电力系统的深度融合，通过实现电力系统各环节万物互联、人机交互，为风电运维管理提供了新的技术路径。

### 一、风电运维的重要性

风电运维的重要性，从其影响风电场的多个关键方面便可见一斑。它不仅关乎风电场能否安全稳定地运行，更直接影响到发电效率与整体经济效益。一个健全而高效的风电运维管理体系，能够迅速而准确地识别并解决设备运行中潜藏的问题，从而有效预防可能发生的重大安全事故，为风力发电机组营造一个无虞的工作环境。在这样的环境下，发电机组得以持续维持在最佳性能状态，从而显著提升风能转换效率，增加发电量，为风电场创造更多价值。不仅如此，通过实施精细化的运维策略，风电运维管理还能够对设备的使用情况进行细致追踪与分析，据此制定出科学合理的维护计划，有效延长设备的使用寿命。这不仅能够避免因设备过早老化或损坏而引发的额外维修成本，还能通过优化运维流程，进一步减少不必要的开支，为风电场的长期运营节省宝贵资源<sup>[1]</sup>。所以，加强风电运维管理，不仅是对能源供应安全的

坚实保障，更是推动清洁能源发展不可或缺的一环。在能源转型与绿色低碳发展的背景下，提升风电运维管理水平，不仅能够增强风电行业的整体竞争力，还能为实现可持续发展目标贡献重要力量。通过不断优化运维策略，提高运维效率，风电运维管理正逐步成为引领风电行业迈向更加绿色、高效未来的关键驱动力。

### 二、风电运维管理现状

#### （一）专业技术人员短缺

专业技术人员短缺这一问题，在风电运维管理领域表现得尤为突出且紧迫。随着全球范围内对可再生能源，特别是风能的大力推广和应用，风电产业迎来了前所未有的发展机遇，装机容量逐年攀升，风电场遍布各地。这一迅猛的发展势头，直接推动了对风电运维专业技术人员的巨大需求。这些人员不仅需要掌握扎实的电气、机械、自动化控制等专业知识，还需具备丰富的现场



运维经验，能够迅速识别并解决风电设备在运行过程中出现的各种复杂问题。同时，高度的责任心和良好的团队协作能力也是不可或缺的，以确保运维工作的顺利进行和风电场的安全稳定运行。然而，现实情况却远非如此乐观。由于风电技术的专业门槛较高，且涉及多学科交叉，市场上真正符合上述要求的运维人才显得凤毛麟角。一方面，现有的教育体系在风电运维专业人才培养方面尚存在不足，相关课程设置和实践机会有限，难以满足行业快速发展的需求。另一方面，风电场往往位于偏远地区，工作环境相对艰苦，对人才的吸引力有限，导致许多优秀人才流失或不愿涉足该领域<sup>[9]</sup>。这种人才短缺的现状，不仅使得运维团队的整体素质难以得到有效提升，影响了运维工作的质量和效率，还进一步加剧了风电场运维成本的上升压力。为了弥补人才缺口，企业不得不投入更多的资源和精力去培训和吸引人才，这无疑增加了运营成本，降低了企业的盈利能力。此外，人才短缺还可能导致运维工作的延误和失误，给风电场的安全稳定运行带来潜在风险，影响整个风电产业的健康发展。

### （二）运维成本高昂

运维成本高昂这一难题，在风电行业中尤为凸显，成为制约其进一步发展的主要瓶颈之一。首先，从地理位置来看，风电场往往选址在风能资源丰富但人口稀少的偏远地区，这不仅意味着运维人员需要长途跋涉，穿越复杂地形，进行定期的检查和维护，还直接导致了交通成本的显著增加。加之这些地区基础设施相对落后，住宿条件有限，运维团队在执行任务时往往需要承担高昂的住宿和生活费用，进一步推高了运维的间接成本。其次，风电设备本身技术含量极高，集成了电气、机械、自动化控制等多个领域的前沿技术，这使得其维修工作极具挑战性。尤其是大型核心部件，如发电机、齿轮箱等，一旦出现故障，不仅维修周期长，而且需要专业的技术人员和精密的维修设备，维修成本自然水涨船高。此外，这些部件的更换往往涉及到复杂的物流运输和现场安装，同样需要不菲的投入。再者，风电设备长期暴露在自然环境中，极端天气条件，如强风、暴雨、雷电、低温等，都是对其性能和寿命的严峻考验。这些自然灾害不仅可能直接导致设备损坏，增加紧急维修的需求，还可能因环境因素加速设备老化，缩短其使用寿命，从而间接提高了运维成本。例如，强风可能导致叶片断裂，雷电可能引发电气系统故障，而低温则可能影响润滑油的性能和电池的续航能力，这些问题都需要及时且专业的运维处理<sup>[9]</sup>。

### （三）运维策略不合理

运维策略不合理的问题，在风电运维管理中显得尤为突出，对风电场的运营效率和经济效益构成了严峻挑战。具体而言，部分风电场仍然深陷于传统运维策略的泥潭，过度依赖定期检修这一被动维护方式。这种模式虽然看似稳妥，实则效率低下，资源浪费严重。定期检修往往基于固定的时间间隔进行，而不考虑设备的实际运行状况和磨损程度，导致在设备状态良好时进行不必要的维护，浪费了大量的人力、物力和财力；而在设备已经出现磨损或故障迹象时，却因未到检修周期而未能及时采取措施，错过了最佳的维修时机，不仅增加了设备故障的风险，还可能因故

障导致的停机时间延长，影响风电场的发电量和收益。更为严重的是，随着物联网、大数据、人工智能等智能化技术的快速发展，运维策略的优化和创新成为可能<sup>[4]</sup>。这些技术能够通过实时监测设备运行状态，收集并分析大量运行数据，预测设备故障趋势，从而实现基于数据分析的预防性维护。这种策略能够大大提高运维的精准度和效率，减少非计划停机时间，延长设备使用寿命，降低运维成本。然而，许多风电场由于技术更新滞后，缺乏相应的技术支持和人才储备，或者管理观念保守，对新技术持观望态度，未能及时跟进并应用这些先进技术，导致运维策略和流程依然停留在传统模式，运维效率和效益双低，无法适应风电行业快速发展的需求。

## 三、泛在电力物联网的风电运维管理技术探索

### （一）感知层技术的应用

在风电运维管理的广阔领域里，感知层技术无疑扮演着举足轻重的角色，它如同风电场的神经末梢，敏锐而精准地捕捉着每一处细微的变化。通过部署高精度智能传感器，这些设备如同精密的“听诊器”，能够实时且准确地采集风电设备在运行过程中的各类关键参数，包括但不限于温度、振动、电流以及电压等。这些参数的实时反馈，就像是一扇扇透明的窗户，让运维人员能够清晰地洞察到设备的内部运行状态，无论是微小的异常波动还是潜在的故障征兆，都逃不过他们的“法眼”。

不仅如此，感知层所采集的数据，还构成了后续数据分析与故障预测工作的坚实基础。借助这些数据，运维团队能够运用先进的算法模型，对设备的健康状况进行深度剖析，预测其未来的运行趋势，从而提前采取预防措施，避免或减少故障的发生。这种基于数据的运维方式，相较于传统的经验判断，无疑更加科学、准确，也更能适应现代风电运维管理的需求<sup>[9]</sup>。而随着物联网技术的日新月异，感知层的功能也在不断拓展与深化。如今，它不仅能够实现对设备状态的实时监测，还能够完成设备身份识别与环境状态监测等任务。设备身份识别，如同为每一台风力发电机分配了一个独一无二的“身份证”，使得运维人员能够轻松追踪其全生命周期内的运行轨迹与维护记录，为设备的精细化管理提供了有力支撑。而环境状态监测，则让运维团队能够及时了解风电场所在地的风速、风向、温度等自然条件，为设备的高效运行与安全保障提供了不可或缺的信息<sup>[6]</sup>。

### （二）网络层技术的支持

网络层，作为泛在电力物联网架构中的中坚力量，其重要性在风电运维管理的实践中得到了淋漓尽致的体现。它如同一座无形的桥梁，连接着感知层与平台层，确保数据能够高速、实时且可靠地在两者间流通。在风电运维管理的场景中，网络层技术充分利用了高通量卫星、5G等前沿的无线通信技术，这些技术不仅具备极高的数据传输速率，还拥有极低的时延表现，能够在瞬息万变的风电场环境中，迅速且稳定地将感知层所采集的各类设备数据，如温度、振动、电流、电压等关键参数，以及设备身份信息和环境状态数据，准确无误地传输至平台层<sup>[7]</sup>。

这一传输过程的高效与稳定，得益于这些先进通信技术对复杂环境的强大适应能力。无论是偏远地区风电场的信号覆盖难题，还是风电设备在高空、强风、严寒等极端条件下的数据传输挑战，高通量卫星与5G通信技术都能凭借其卓越的抗干扰能力和信号稳定性，确保数据的连续、完整传输。这种能力，对于风电运维管理来说至关重要，因为它直接关系到运维团队能否及时、准确地掌握设备状态，进而做出正确的决策与行动。有了网络层的坚实支持，风电场运维团队得以实现对设备状态的远程监控与实时诊断<sup>[8]</sup>。他们无需亲临现场，就能通过平台层接收到的实时数据，对风电设备的运行状况进行全方位、全天候的监控，一旦发现异常或潜在故障，便能迅速响应，制定并执行相应的维修计划。这种高效的运维模式，不仅极大地提高了运维效率，缩短了故障响应时间，还有效降低了运维成本，提升了风电场的整体运营效益。

### （三）平台层技术的管理

平台层，作为泛在电力物联网架构中的智慧大脑，其在风电运维管理领域扮演着举足轻重的角色。这一层级通过一系列精心设计的组件，如数据平台与物联管理中心，构建了一个高效、智能的数据处理与决策体系。在风电运维管理的日常运作中，平台层技术如同一位不知疲倦的数据分析师，对感知层所采集的海量数据进行统一的接收、处理、存储与分析。这些数据涵盖了风电设备的温度、振动、电流、电压等关键运行参数，以及设备身份识别与环境状态监测的详细信息，为风电场的智能化运维提供了宝贵的资源<sup>[9]</sup>。

平台层不仅实现了数据的实时更新与共享，让运维团队能够随时随地获取到最新的设备状态信息，更通过大数据与云计算等前沿技术的深度应用，对风电设备的运行状态进行了全面而深入的挖掘与预测。借助这些技术，平台层能够发现设备运行中的微妙变化与潜在规律，提前预警潜在的故障风险，为运维人员提供了宝贵的决策依据<sup>[10]</sup>。另外，平台层还具备强大的决策支持功能。它为运维人员提供了一系列便捷的决策支持工具，如故障预警系统、维修计划生成器与运维流程优化器等。这些工具不仅能够帮助运维人员快速定位故障点，准确判断故障类型与严重程度，还能够根据设备的运行状况与历史数据，智能生成维修计划与备件需求预测，大大提升了运维工作的效率与准确性。同时，通过对运维流程的持续优化，平台层还能够有效减少不必要的停机时间，提高风电设备的利用率与可靠性。

## 四、结语

风电运维管理对于确保风电场安全高效运行具有重要意义。当前，专业技术人员短缺、运维成本高昂及运维策略不合理等问题限制了风电运维管理的发展。基于泛在电力物联网的风电运维管理技术，通过感知层、网络层及平台层技术的综合应用，为风电运维管理带来了革命性的变革。这一技术探索不仅提升了运维效率，降低了运维成本，还实现了运维策略的智能化优化，为风电运维管理的未来发展指明了方向。

## 参考文献

- [1]李颖杰. 电力泛在物联网网关安全接入节点辨识模型构建[J]. 微型电脑应用, 2023, 39 (07): 139-142.
- [2]刘畅, 田里, 周亮, 王捷. 计及泛在电力物联网的室外设备安全接入方法[J]. 电子设计工程, 2023, 31 (14): 89-92+97.
- [3]赵伟国. 基于泛在电力物联网的无人值守变电站消防策略探究[J]. 消防界(电子版), 2023, 9 (11): 105-107.
- [4]金兆鹏. 泛在电力物联网应用场景探索及工程实践[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (05): 270-272.
- [5]周允升. 泛在电力物联网在生产中的系统设计——以小龙虾养殖为例[J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35 (07): 32-34.
- [6]刘鑫. 基于泛在物联网的电力物资信息化管理系统[J]. 信息与电脑(理论版), 2022, 34 (24): 213-215.
- [7]程天宇, 李龙, 林志强. 基于泛在电力物联网的智能安全监测系统设计[J]. 制造业自动化, 2022, 44 (09): 202-206.
- [8]王振乾, 朱珠, 任江华. 基于泛在电力物联网的电力运维平台设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41 (08): 76-79+139.
- [9]何立民. 泛在电力物联网中的智能电表[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22 (08): 4-6.
- [10]张哲宁. 云桌面在电力企业信息系统安全运维管理中的应用[J]. 现代信息科技, 2018, 2 (10): 163-164.

# 火电厂集控运行技术的相关问题分析

赵沛光

朝阳燕山湖发电有限公司，辽宁 朝阳 122000

**摘 要：** 随着我国电力行业的快速发展，火电厂作为电力生产的重要组成部分，其运行效率与安全性备受关注。集控运行技术作为现代火电厂的重要管理方式，在提高运行效率、降低能耗、保障安全等方面发挥着重要作用。然而在实际应用中，集控运行技术也面临诸多挑战。本文旨在分析火电厂集控运行技术的相关问题，并提出相应的解决方案与策略，以期提高火电厂的运行水平和经济效益提供参考。

**关 键 词：** 火电厂；集控运行技术；节能降耗；运行优化；技术挑战

## Analysis of Relevant Issues in Centralized Control Operation Technology of Thermal Power Plants

Zhao Xiguang

Chaoyang Yanshan Lake Power Generation Co., LTD. Chaoyang, Liaoning 122000

**Abstract：** With the rapid development of China's power industry, thermal power plants, as an important component of power production, have attracted much attention to their operational efficiency and safety. As an important management method in modern thermal power plants, centralized control operation technology plays a crucial role in improving operational efficiency, reducing energy consumption, and ensuring safety. However, in practical applications, centralized control operation technology also faces many challenges. This article aims to analyze the relevant issues of centralized control operation technology in thermal power plants, and propose corresponding solutions and strategies, in order to provide reference for improving the operation level and economic benefits of thermal power plants.

**Keywords：** thermal power plants; centralized control operation technology; energy conservation and consumption reduction; operational optimization; technical challenges

## 引言

电力工业作为国民经济的主要力量，其发展水平直接关系到国家的能源安全和经济发展。火电厂作为电力生产的主要方式之一，其运行效率、能耗及环境污染问题一直是行业关注的重点。集控运行技术作为现代火电厂的重要管理方式，通过集中控制、智能化管理等手段，实现了对火电厂运行状态的实时监控和高效管理<sup>[1]</sup>。随着电力需求的不断增加和技术的不断进步，集控运行技术也面临诸多新的挑战和问题。本文将从集控运行技术的重要性、面临的问题、节能降耗技术措施、优化思路、应用现状与挑战等方面进行深入分析，并提出相应的解决方案与策略。

## 一、集控运行技术的重要性

### （一）核心管理与智能化发展

集控运行技术是火电厂实现高效、安全、稳定运行的关键。其核心在于将火电厂的各类控制资源进行整合，构建统一全面的集控系统，实现对发电生产各个环节、设备的集中控制<sup>[2]</sup>。这种集中控制的方式不仅提高了控制能力和效率，还实现了对火电厂运行状态的实时监控和预警，有效降低了事故发生的概率。随着智能化技术的发展，集控运行系统不断融入人工智能、大数据等

先进技术，实现了对火电厂运行数据的深度挖掘和分析，为优化运行策略、提高经济效益提供了有力支持。

### （二）影响运行管理水平、能耗、环境污染

集控运行技术的应用对火电厂的运行管理水平、能耗及环境污染等方面产生了深远影响<sup>[3]</sup>。通过集中控制，火电厂能够实现对所有设备的统一调度和优化配置，提高了设备的利用率和运行效率。同时集控运行系统能够实时监测设备的运行状态和能耗情况，及时发现并处理潜在的问题，有效降低了能耗和环境污染。此外，集控运行技术还能够实现对火电厂生产过程的精细化管理

作者简介：赵沛光（1995.07-），男，汉族，辽宁省朝阳市人，本科，工程师，研究方向：能源与动力工程专业。



理,提高了生产效率和经济效益。

## 二、集控运行面临的问题

### (一) 系统复杂性增加

随着火电厂规模的不断扩大和技术的不断进步,集控运行系统的复杂性也在不断增加<sup>[4]</sup>。系统需要整合的设备和数据越来越多,对系统的集成能力、数据处理能力和稳定性提出了更高的要求。由于系统复杂性的增加,也增加了系统维护和管理难度。

### (二) 控制精度要求提高

随着电力市场的竞争加剧和用户对电力质量要求的提高,火电厂对集控运行系统的控制精度要求也在不断提高<sup>[5]</sup>。系统需要能够实现对各类设备的精确控制和优化调度,以满足电力市场的需求和用户的用电质量。然而,由于系统复杂性和设备多样性的增加,实现精确控制也面临诸多挑战。

### (三) 设备维护难度加大

集控运行系统的设备种类繁多、数量庞大,且分布广泛。设备的维护和管理需要专业的技术人员和先进的维护设备,增加了设备维护的难度和成本<sup>[6]</sup>。由于设备老化、更新换代等原因,也增加了设备维护的复杂性和不确定性。

### (四) 高能耗问题

火电厂作为能源消耗大户,其能耗问题一直备受关注。集控运行系统虽然能够提高运行效率和降低能耗,但系统本身的能耗也不容忽视。如何在保证系统稳定性和控制精度的前提下,降低系统能耗是当前亟待解决的问题之一。

### (五) 运行稳定性与质量

集控运行系统的稳定性和质量直接关系到火电厂的运行安全和经济效益。然而由于系统复杂性和设备多样性的增加,以及外部环境因素的影响,系统的稳定性和质量也面临诸多挑战。如何确保系统的稳定运行和高质量运行是当前亟待解决的问题之一。

## 三、节能降耗技术措施

在火电厂的运营中,节能降耗不仅是提升经济效益的关键,更是响应国家绿色发展战略的重要举措<sup>[7]</sup>。集控运行系统作为火电厂的中枢神经系统,其节能降耗技术的应用直接关系到整个电厂的能效与环境影响。

### (一) 应用节能降耗技术举措

面对日益严峻的能源挑战和环保压力,火电厂集控运行系统必须采取一系列节能降耗技术举措,以适应新时代的发展需求。这些举措的核心在于优化资源配置,提高能源利用效率,减少不必要的能源消耗。

#### (1) 优化设备运行策略是节能降耗的关键

集控运行系统应根据电力市场的实时需求和用户的用电量,灵活调整设备运行策略<sup>[8]</sup>。这包括调整机组的出力、优化启停顺序、合理安排检修计划等。通过精准控制设备运行参数和状态,实现设备的精确控制和优化调度,从而在保证供电质量的同时,

最大限度地降低能耗。

(2) 提高设备效率是节能降耗的又一重要途径。随着科技的进步,火电厂设备的技术升级和改造已成为必然趋势。通过引入先进的燃烧技术、优化锅炉和汽轮机的运行参数、提高热效率等措施,可以显著降低设备的能耗和排放水平<sup>[9]</sup>。加强设备的日常维护和保养,延长设备的使用寿命,也是提高设备效率的重要手段。

#### (3) 降低系统能耗是节能降耗的又一关键环节

集控运行系统作为火电厂的核心控制系统,其设计和运行策略的优化对于降低系统能耗至关重要。通过采用先进的控制算法和优化策略,实现对系统能耗的实时监测和控制;引入节能型的设备和材料,如高效节能电机、LED照明等,进一步降低系统的能耗水平。

### (二) 具体技术措施

在节能降耗技术措施的具体实施中,集控运行系统需要从多个方面入手,确保各项措施的有效落实。

(1) 优化设备运行策略方面,集控运行系统应建立科学的设备运行模型,综合考虑电力市场需求、设备性能、能耗成本等因素,制定最优的设备运行策略。同时,利用大数据分析技术,对设备运行数据进行深入挖掘和分析,及时发现设备运行中的问题和潜在风险,为优化设备运行策略提供有力支持。

(2) 提高设备效率方面,集控运行系统应加强对设备的技术改造和升级。针对老旧设备,通过引入新技术、新材料和新工艺,进行技术改造和升级,提高设备的运行效率和性能。同时,加强对设备的日常维护和保养,建立设备健康档案,及时发现并处理设备故障和异常情况,确保设备的稳定运行和高效运行。

(3) 降低系统能耗方面,集控运行系统应加强对系统能耗的监测和管理。通过建立能耗监测平台,实时监测系统的能耗情况,及时发现能耗异常和浪费现象。同时,利用先进的控制算法和优化策略,对系统能耗进行优化控制,实现能耗的精细化管理。此外,还应加强对节能型设备和材料的推广和应用,通过采用高效节能电机、LED照明等节能设备和材料,进一步降低系统的能耗水平。

## 四、集控运行优化思路

### (一) 增强运行效率和经济效益

集控运行系统的优化思路之一是通过增强运行效率和经济效益来提高火电厂的整体竞争力。这包括优化设备运行策略、提高设备效率、降低系统能耗等方面的措施<sup>[10]</sup>。通过优化集控运行系统的设计和运行策略,实现对火电厂运行过程的精细化管理和优化调度,从而提高运行效率和经济效益。

### (二) 技术支撑行业可持续发展

集控运行技术的优化和发展不仅关系到火电厂的运行效率和经济效益,还关系到整个电力行业的可持续发展。通过不断引入先进的技术手段和创新理念,推动集控运行技术的不断升级和完善,为电力行业的可持续发展提供有力的技术支撑和保障。



## 五、集控运行技术的应用现状与挑战

### （一）应用现状分析

目前，集控运行技术已经在国内外众多火电厂得到了广泛应用。这些火电厂通过采用集控运行技术，实现了对发电生产过程的实时监控和优化调度，提高了运行效率和经济效益。同时，集控运行技术还应用于火电厂的设备维护、安全管理等方面，为火电厂的安全运行和可持续发展提供了有力支持。集控运行技术的应用也面临诸多挑战。例如系统复杂性的增加、控制精度要求的提高、设备维护难度的加大等问题都制约了集控运行技术的进一步发展和应用。

### （二）存在的问题及对策分析

针对集控运行技术应用中存在的问题，需要采取相应的对策进行分析和解决。例如，针对系统复杂性的增加，可以通过加强系统集成能力和数据处理能力的建设，提高系统的稳定性和可靠性；针对控制精度要求的提高，可以通过采用先进的控制算法和优化策略，实现对设备的精确控制和优化调度；针对设备维护难度的加大，可以通过加强设备维护管理和技术人员培训等措施，提高设备维护的水平和效率。

## 六、解决方案与策略

### （一）提高集控运行水平的解决策略

为了提高集控运行水平，需要采取一系列解决策略。加强系

系统集成能力建设、优化控制算法和策略、提高设备维护管理水平等。通过加强系统集成能力建设，可以提高系统的稳定性和可靠性；通过优化控制算法和策略，可以实现对设备的精确控制和优化调度；通过提高设备维护管理水平，可以延长设备的使用寿命和降低维护成本。

### （二）改进措施分析

针对集控运行技术应用中存在的问题和挑战，需要采取相应的改进措施进行分析和解决。例如针对系统复杂性的增加和控制精度要求的提高，可以采用先进的控制技术和算法进行研究和开发；针对设备维护难度的加大和高能耗问题，可以采用智能化设备和技术进行研究和应用；针对运行稳定性和质量的问题，可以加强系统的监测和预警能力建设和运行管理水平的提高。

## 七、结束语

火电厂集控运行技术作为现代火电厂的重要管理方式，在提高运行效率、降低能耗、保障安全等方面发挥着重要作用。然而，在实际应用中，集控运行技术也面临诸多挑战和问题。本文通过分析集控运行技术的重要性、面临的问题、节能降耗技术措施、优化思路、应用现状与挑战等方面，提出了相应的解决方案与策略。未来，随着技术的不断进步和创新理念的引入，集控运行技术将不断升级和完善，为火电厂的可持续发展提供有力的技术支撑和保障。

## 参考文献

- [1] 吴学峰. 火电厂集控运行技术的相关问题分析 [J]. 应用能源技术, 2021, (09): 19-21.
- [2] 李俊. 火电厂集控运行技术的相关问题分析 [J]. 科技风, 2017, (23): 189.
- [3] 王飞. 火电厂集控运行技术运行期间的常见问题与对策分析 [J]. 化工管理, 2017, (26): 226.
- [4] 张军. 火电厂集控运行技术的相关问题分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016, (27): 52-53.
- [5] 肖纯. 火电厂集控运行技术在运行期间的常见问题及改进措施分析 [J]. 民营科技, 2016, (09): 267+271.
- [6] 杨伟, 睢占强. 浅谈火电厂集控运行技术的相关问题 [J]. 山东工业技术, 2016, (05): 153.
- [7] 魏光. 火电厂集控运行技术的相关问题探析 [J]. 现代国企研究, 2016, (04): 142.
- [8] 罗俊然. 浅谈火电厂集控运行技术的相关问题 [J]. 中国高新技术企业, 2015, (33): 105-106.
- [9] 李亚军. 火电厂集控运行技术的相关问题分析 [J]. 中国高新技术企业, 2014, (33): 112-114.
- [10] 柳栓, 贾向虎, 刘江. 火电厂集控运行关键技术 [J]. 中国科技信息, 2024, (15): 78-80.

# 中速辊式磨煤机常见故障分析及解决办法

李瑶, 黄帅, 王宁, 郭佳, 陈佳启

北京电力设备总厂有限公司, 北京 102401

**摘 要 :** ZGM中速辊式磨煤机已燃煤电厂、钢厂、水泥厂、化工厂上广泛应用。因此, 如何保证磨煤机的正常稳定运行, 也成为了关注点。本文首先介绍了磨煤机的运行原理, 进而分析火力发电厂中磨煤机常见故障产生的原因, 并提出相应处理对策。

**关 键 词 :** 火力发电厂; 磨煤机; 故障

## Common Fault Analysis and Solution of Medium-speed Roller Coal Mill

Li Yao, Huang Shuai, Wang Ning, Guo Jia, Chen Jiaqi

Beijing Electric Power Equipment General Factory Co., LTD. Beijing 102401

**Abstract :** ZGM medium speed roller coal mill has been widely used in coal-fired power plants, steel mills, cement plants and chemical plants. Therefore, how to ensure the normal and stable operation of the coal mill, has also become a concern. This paper first introduces the operation principle of coal mill, and then analyzes the causes of the common faults of coal mill in thermal power plants, and puts forward the corresponding countermeasures.

**Keywords :** thermal power plant; coal mill; failure

### 一、中速辊式磨煤机的工作原理

本文以 ZGM 中速辊式磨煤机为例, 简述其工作的原理, 以便于进一步分析其运行时常见的故障。

辊式磨煤机首先对原煤进行碾磨: 由主电机驱动, 通过减速机带动传动盘、磨环及喷嘴环旋转, 喷嘴环的转动从而带动 3 个均布的磨辊自转。当原煤通过落煤管进入磨煤机的中央部位时, 由于喷嘴环旋转产生的离心力使原煤进入碾磨轨道上, 再通过液压加载系统对磨辊产生的挤压力, 在碾磨轨道上对原煤进行来回碾磨。

原煤碾磨的同时进行干燥。热风及冷风混合后形成的一次风通过一次风道进入磨煤机, 干燥原煤中的水分, 从而达到规定的煤粉水分。

碾磨及干燥后的煤粉通过一次风携带到分离器进行分离。分离器的作用是筛选碾磨合格的煤粉。其中的粗粉会通过分离器回粉锥返回磨盘上重新碾磨; 合格的细粉将会被一次风带出分离器出粉管, 进入燃烧器。

### 二、中速辊式磨煤机的故障分析及解决办法

#### (一) 磨损严重

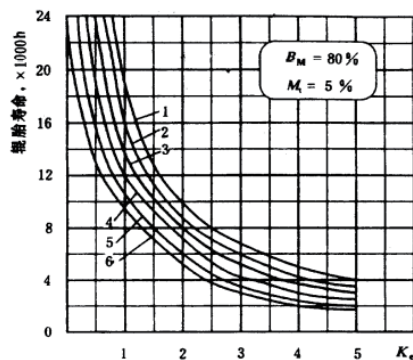
磨煤机的磨损是较常见的故障, 主要表现在磨煤机耐磨件(磨辊辊套和衬板)、刮板、辊架、动喷嘴环、机壳内壁、分离器顶部及煤粉管道等, 尤其以磨内一次风出口迎风面的结构件磨损更为严重<sup>[1]</sup>。下面将结合多个现场运行经验进行原因分析, 并提供相应解决办法。

作者简介: 李瑶 (1991.08—), 女, 汉族, 本科, 研究方向: 机械及自动化。

#### 1. 磨煤机金属件磨损的原因分析

##### (1) 煤质影响

煤的冲刷指数  $ke$  值越大, 辊套、衬板的磨损越快, 而且磨损速度呈指数增长, 见图 1<sup>[2]</sup>。另外, 原煤中若含有大量杂质, 尤其是煤矸石、铁块等, 大量的煤矸石在磨盘上堆积, 运行时辊套衬板会对其反复碾磨, 不仅会导致磨煤机振动振幅增大, 产能降低, 同样会使辊套衬板磨损加剧。同时, 当煤质较硬、石子煤量偏多时, 较多的无法碾磨的石块、铁块等进入刮板室, 将导致刮板磨损加快。刮板磨损严重后, 刮板与机座顶板间隙变大, 导致大量石子煤渣无法通过刮板作用排出至排渣箱, 会导致一次风无法足量进入磨煤机内, 磨煤机出力下降, 而且会导致堵磨发生。



1—R90=40% 2—R90=35% 3—R90=30% 4—R90=25% 5—R90=20% 6—R90=15%

图 1 MPS 型磨煤机辊轮单面寿命 (辊套厚度减薄至一半) 和煤的磨损指数的关系

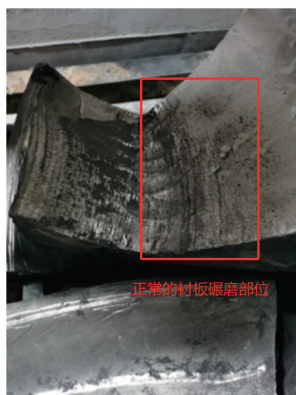
##### (2) 风速及风粉混合物的冲刷磨损

磨煤机磨环及喷嘴环设计的风速及风煤比都有一定合理范围。如现场运行时一次风量过大, 将导致磨煤机喷嘴流速、风煤比、分离器风粉流速加大, 超出合理范围值。一次热风携带大量

的煤粉和煤渣，对磨煤机金属件进行冲刷，磨煤机入口风量越大，导致金属件磨损越严重，至使喷嘴环、机壳内壁，甚至分离器顶部钢板均会出现不同程度的磨损。喷嘴环磨损后，通流面积加大，至使机壳内出现一次风流速下降，风煤比降低，导致石子煤量开始逐渐增加，且会出现带粉问题。

### （3）现场安装原因

根据衬板磨损部位照片（如图2，图3，图4），可以判断三个磨辊在安装后并不在辊道中心上，其中两个磨辊偏向衬板外沿，一个磨辊偏向衬板内侧，偏向外侧的磨辊会与衬板形成挤压，过度磨损，偏向内侧的磨辊，由于加载力垂直作用在衬板的最薄处，可能会导致衬板断裂。同时磨辊自身并不是沿辊道圆周布置，而是有一定的夹角。该情况会直接导致辊套接近或者直接处于喷嘴环处的喷吹区域，使一次风携带煤粉直接冲刷辊套。



> 图2：正常衬板磨损部位



图3：现场衬板上部有明显挤压



> 图4：现场衬板内侧有明显挤压

### （4）辊架与铰轴座磨损

磨辊与辊道平面之间的夹角设计为  $15^\circ$ ，该夹角由辊架与铰轴座之间的间隙来保证。当辊架耳部与铰轴座接触的平面有磨损时， $15^\circ$  夹角变大，磨辊倾倒幅度同步变大，致使磨辊下部向衬板外侧偏移，辊套挤压衬板外侧，受一次风吹扫更加明显。

## 2. 降低中速辊式磨煤机易损件损耗的措施

### （1）现场运行方式的优化

①根据磨煤机原始设计风量对磨煤机运行风量进行优化。现场运行时尽量选用与原始设计相似的煤质。

②注意现场的检修维护，按照磨煤机厂家说明书中的要求定期对磨煤机进行检查，查看磨损情况，保证及时更换和检修。

### （2）耐磨材质及耐磨措施优化升级

针对近年磨煤机易磨损件的磨损情况，现场可在改造时对

金属易损件进行优化升级，具体情况如下：

#### ①喷嘴环的优化

喷嘴环是磨煤机的重要部件之一，其设计和结构的合理性直接对磨煤机出力、阻力的情况以及其他金属部件的磨损情况有着直接影响<sup>[3]</sup>。

对于喷嘴环磨损较严重的项目，可以对喷嘴环的风速进行重新计算，在此基础上对动、静叶片的数量以及叶片流线的形状优化，实现了运行风速的明显提高。

#### ②辊套、衬板材质的优化

目前市场上 ZGM 磨煤机辊套和衬板的材质分为以下三种：高铬铸铁（Cr2021）、高铬堆焊合金以及陶瓷复合材质<sup>[4]</sup>。

下面将结合该现场实际运行情况及使用经验，对三种不同材质的辊套、衬板的优劣势进行分析：

高铬铸铁辊套和衬板属于传统耐磨件，它们在一定温度下具有较好的耐磨性，整体性能优越，技术成熟，故在国内各发电厂应用广泛。但在使用过程中还存在一些问题，集中表现为：一是因浇注缺陷而引起的裂纹扩展，易造成整个断面开裂而发生断辊，危害设备；二是内外硬度不均，表面硬度 HRC 可以达到 60 以上，内部硬度小于该值，易出现磨损加快的情况，因此耐磨寿命较低。虽然高铬铸铁辊套、衬板存在以上弊端，但价格最低，因此市场占有率最高。该材质适合煤质来源稳定、哈氏可磨性系数 HGI 高、冲刷指数  $K_e$  低的电厂。该材质辊套、衬板可在磨损后采用一定工艺修复，在现场使用情况好的情况下，一般磨损到 50% 左右时（约 5000 小时）即可以对辊套和衬板进行堆焊，可以反复堆焊 2~3 次。如果现场选择对耐磨件不进行堆焊处理，可以将辊套、衬板磨损到 90% 左右时（约 7000 小时）整体更换处理；也可以磨损到 50% 左右时对辊套进行翻面处理，再进行使用<sup>[5]</sup>。

高铬堆焊合金辊套和衬板是近年来出现的技术，在最近 3~5 年已经趋于成熟，其工艺是在铸钢基材表面利用高铬焊丝进行堆焊处理。高铬堆焊合金辊套和衬板的出现，有效提高了辊套和衬板的使用寿命，单次使用寿命相较于高铬铸造材质，可有效提高 2000 小时，可以反复堆焊 6 次以上，并且可以在线进行堆焊，无需将辊套和衬板拆除。高铬堆焊合金辊套和衬板具有焊道冷却速度快、焊缝硬度高、热影响区小、不易产生裂纹及剥落现象，价格适中等优点，弥补了铸造材质使用寿命短的缺陷，同时，还避免了使用金属陶瓷复合材质后期带来的不稳定因素，是目前应用最广泛的耐磨件。该材质堆焊质量主要由以下两方面保证：一是堆焊工艺，主要包括焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊丝规格、温度控制等方面。二是焊丝材质，主要包括 C、Mn、Si、Ni、Cr 等金属元素的含量和配比<sup>[6]</sup>。

在传统的高铬铸铁、堆焊耐磨件的基础上，目前市场上又成功研制出陶瓷复合耐磨材料，针对高冲刷磨损指数的煤种，有效提高使用寿命。金属陶瓷复合材料硬度可达到 2100HV，其使用寿命为铸造和堆焊辊套衬板的 2~3 倍。但其也有一定的缺点：一是煤种适应性差，在煤中含有铁块、石块、木块等杂质时，会引起附加冲击载荷，造成陶瓷颗粒剥落。二是影响磨煤机出力，在其磨损到一定程度后，还能继续使用 1 年以上，但是在此期间磨煤机会



出现振动、排渣、出力降低等情况。为改善该情况，磨煤机需要增大加载力，提高风量等措施进行调整，因此又导致电流升高，磨煤机内部零件和出粉管段过度吹损，最终导致制粉系统设备状况的恶化，电厂需要投入更多的人力、物力和时间进行处理。三是金属陶瓷复合辊套和衬板磨损后不可修复，只能报废处理。四是金属陶瓷复合材料较堆焊及高铬合金材质，价格较贵<sup>[7]</sup>。

根据以上对辊套、衬板三种材质的分析，煤种材质均存在优势及不足，可结合项目具体情况进行最优选择。

### （3）机壳防磨板材质优化

早期项目机壳防磨板采用 16Mn 和 NM 系列钢板材质。但由于 16Mn 材质中不含有 Cr 等元素，硬度较差，耐磨寿命较低；NM 系列在高温下运行耐磨性能退化为普通钢板，磨煤机运行时，磨内温度高达 250℃~400℃，因此 NM 系列钢板无法在持续高温环境下保证其耐磨性，无法满足市场的需求。

因此为提高磨煤机机壳防磨板使用寿命，现机壳内壁防磨板多采用耐磨陶瓷或高铬堆焊板两种方式。

### 3. 现场安装的注意事项

安装、检修和更换磨辊时，需要对磨辊进行找正对中，避免磨辊偏转和外撇。找正对中的主要方法是：①磨辊安装在压架上，②拆除压架与机壳之间的导向片，使两侧留有足够的活动间隙，③利用液压油站，反复提升和下降磨辊，使压架、拉杆尽量释放所承受的额外约束力（目的是使压架不要别劲，拉杆上下尽量同心），④利用磨辊找正工具测量三个对中点的偏差，⑤通过周向或者径向撬动压架，调整三个磨辊的对中点，使之符合安装需要，⑥磨辊找正中后将压架与机壳之间的导向间隙调整好，承力侧（导向块大块这一侧）导向间隙为 0mm，非承力侧间隙 3~5mm，防止磨辊在运动中中心偏移。

### 4. 停磨检查时，对辊架与铰轴座之间的接触面进行检查

如辊架该处的接触面有磨损或者有明显的挤压变形，形成较大的压力角，应该进行局部修复，恢复磨辊的 15° 倾角。

## （二）磨煤机机座密封漏风漏粉

### 1. 漏粉的原因分析

机座密封是由机械密封+空气密封组成，传统的机械密封采用碳精密封环起密封作用，碳精密封环由两圈石墨密封环组成，靠弹簧箍紧在传动盘上形成浮动式密封，在一定范围内有自动补偿的作用，可以很好的适应于传动盘的偏心等情况，从而有效保证密封。磨煤机机座密封漏风主要有以下原因：

### （1）安装原因

机座上密封：机座密封安装需将上连接环插入传动盘止口内，防止一次风室内的煤渣或石子掉入密封室内，造成碳精环损坏。同时也保证了足够的密封风压，确保密封风压高于一次风压 2kPa 以上。若上密封安装在传动盘止口以下，机座上密封密封间隙变大，经常会有煤渣进入密封风室，由于碳精密封环具有脆硬的特性，大块煤渣进入密封风室内，导致碳精密封环的破坏。

碳精密封环：若碳精环安装槽未打磨光滑，使其不能滑动，有卡涩，或碳精环安装槽（机座密封下密封环）安装不平、出现倾斜，碳精环在运行中，不能自动补偿，再结合不断旋转有较大

扭矩的传动盘，会出现挤碎碳精环的情况<sup>[8]</sup>。

### （2）运行操作原因

电厂磨煤机正压运行时，为确保密封作用，密封风室内密封风压需高于一次风室内一次风压 2kPa，该差压值必须受监控。若一次风室内大量积煤或差压不满足要求，同样会导致煤渣进入到密封风室，从而进入碳精环槽内，造成碳精环磨损加剧、卡涩，最终造成碳精环碎裂<sup>[9]</sup>。

（3）原始上连接环与传动盘止口处无密封设计，现场运行一段时间后，传动盘止口与上连接环间隙变大，导致煤粉通过此处进入炭精环，加快了碳精环的磨损。

（4）传动盘的传动轴磨损变细也是机座密封装置漏煤渣的主要原因，碳精密封环是按照新设备尺寸设计，正常情况下碳精密封环安装后是与传动轴是抱紧的，但由于长期运行传动轴上碳精密封环的工作部位被磨细，使碳精环尺寸偏大，无法通过弹簧完成尺寸补偿，因此削弱了密封效果<sup>[10]</sup>。

### 2. 磨煤机漏粉的解决方案

上连接环增加阻风环装置，将原机座密封上连接环处的水平间隙改造为水平和竖直间隙，既保证了良好的密封性，又实现了磨损后的补偿性调整；机座下密封在原有的碳精密封环下部增加一圈自动补偿齿形橡胶密封环，并用成型的密封环座进行压紧，保证其可以有有效的抱紧传动盘，降低密封风的泄漏量。

## 三、结束语

为满足电厂的发电需求，需要中速磨煤机能够尽量长期稳定的运行。本文对磨煤机在实际运行中易出现的典型故障进行了分析，并提供了优化及解决方案，可为中速磨煤机在火力发电厂的应用提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 张政, 李奇威. 辊盘式中速磨煤机常见问题分析[J]. 中国机械, 2019, 15.
- [2] 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定, 国家能源局, 2012.
- [3] 程鸿, 朱尧. 中速辊盘式磨煤机提效降耗改造[J]. 能源研究与管理, 2021, (02): 124-129. DOI: 10.16056/j.2096-7705.2021.02.024.
- [4] 王超, 蔡红. 磨煤机耐磨件的研究进展[J]. 热处理, 2014, 29(06): 1-4.
- [5] 陈亮, 余雪琴, 杨阳, 等. 可拓宽 ZGM 型中速磨对煤种适应范围的复合耐磨弧形板围构件型喷嘴静环[C]//江西省电机工程学会. 2023 年江西省电机工程学会年会论文集. 国家电投江西贵溪发电有限公司, 2024: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.007275.
- [6] 王颖, 高志杰, 刘士鹏, 等. 高炉渣磨机在线堆焊专用设备的研制[C]//中国机械工程学会, 中国机械工程师学会焊接分会. 绿色·智能焊接——IFWT2016 焊接国际论坛论文集. 中冶建筑研究总院有限公司, 2016: 3.
- [7] 屈忠宝, 李伶, 王守兴, 等. 金属陶瓷复合材料界面研究及应用进展[J]. 现代技术陶瓷, 2021, 42(03): 157-169. DOI: 10.16253/j.cnki.37-1226/tq.2021.03.002.
- [8] 王荣, 范国强, 董伟波, 等. ZGM113G 型中速辊式磨煤机传动盘密封系统改造[J]. 内蒙古电力技术, 2014, 32(05): 53-55+59.
- [9] 王伟. 托电 4 号炉磨煤机碳精密封环频繁损坏原因分析[J]. 科技创新与应用, 2013, (26): 75-76. DOI: 10.19981/j.cnki.2013-1581/g3.2013.26.066.
- [10] 张林峰. 磨煤单元保证磨煤机长周期运行措施[J]. 氮肥与合成气, 2024, 52(04): 39-40+43. DOI: 10.19910/j.cnki.ISSN2096-3548.2024.04.014.



# 基于深度学习的可变电子交通标志牌的安全性与可靠性研究

刘原志<sup>1</sup>, 王柯璇<sup>1</sup>, 王荣锦<sup>1</sup>, 王嘉明<sup>2</sup>

1. 东北林业大学 土木与交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040

2. 东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040

**摘要：** 我国是一个交通大国，公路交通在人们的日常出行中占据重要地位。近年来我国交通事故数量居高不下，在公路交叉口的事故尤为严重。而能够自适应调节交通标识的可变电子交通标志牌可以有效改善这类问题。本研究建立了公路交叉口智能交通预警系统，系统借助深度学习图像处理技术识别交叉口附近的车辆、行人等目标，通过智能控制屏幕显示不同的警告标志，为驾驶人和行人提供预警，进而降低交通事故率。系统使用 YOLOv8+DeepSORT 算法预测道路使用者轨迹并基于驾驶人视认性以及交通色彩心理学，构建了智能电子交通标志牌预警方案。本研究通过对影响该系统安全性与可靠性的因素进行分析和评估，对因交通标志牌质量或性能而导致的行车问题提供有效解决方案，具有良好的应用前景。

**关键词：** 安全性；可靠性；交通安全；交通标志牌

## Design of Variable Electronic Traffic Signs Based on Deep Learning Research on Safety and Reliability

LiuYuanzhi<sup>1</sup>, Wang Kexuan<sup>1</sup>, Wang Rongjin<sup>1</sup>, Wang Jiaming<sup>2</sup>

1 College of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

2 College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

**Abstract：** China is a large transportation country, and highway transportation occupies an important position in people's daily travel. In recent years, the number of traffic accidents in China remains high, especially at highway intersections. Variable electronic traffic signs, which can adjust traffic signs adaptively, can effectively improve such problems. This study establishes an intelligent traffic early warning system for highway intersections. The system uses deep learning image processing technology to identify vehicles, pedestrians and other targets near the intersection, and displays different warning signs through the intelligent control screen to provide early warning for drivers and pedestrians, so as to reduce the traffic accident rate. The system uses yolov8+deepsort algorithm to predict the trajectory of road users, and constructs an intelligent electronic traffic sign early warning scheme based on driver's visibility and traffic color psychology. Through the analysis and evaluation of the factors affecting the safety and reliability of the system, this study provides effective solutions to the driving problems caused by the quality or performance of traffic signs, which has a good application prospect.

**Keywords：** security; reliability; traffic safety; traffic signs

### 一、研究背景

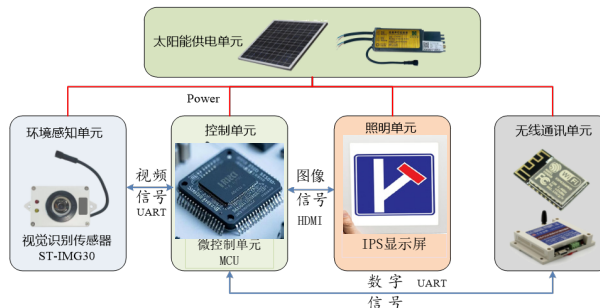
本研究通过对影响该系统安全性与可靠性的因素进行分析和评估，针对这些因交通标志牌质量或性能方面的不足而导致的各类行车问题，深入分析其产生的根源，并集合多方面的专业知识与实践经验，精心制定出切实可行且行之有效的解决方案，以此来保障交通参与者的行车安全，维护道路交通秩序的稳定与顺畅。

### 二、系统设计原理

#### （一）硬件装置搭建：

该系统的硬件装置由太阳能供电单元、环境感知单元、电子标识显示单元、无线通讯单元以及控制单元组成。硬件装置整体

结构如图1所示。



> 图1 硬件装置的整体结构

太阳能供电系统含太阳能电池板和锂离子电池组，前者收集太阳能并转换为直流电能储存于后者中，供阴雨天、晚上等无光照时使用。交通监控单元配备夜视摄像头实时监控十字路口交通

状况,利用先进技术在夜间也能捕捉清晰图像以收集交通流、车辆及行人信息,为智能照明策略提供支持。电子标识显示单元用LED屏提供照明与警示功能。无线通信单元借WiFi模块实现远程数据传输与通信。控制单元内嵌AVR微控制器,通过晶闸管控制模块调节LED屏电流控制亮度,还通过SPI接口与SD卡通信,依环境信息调出电子标识图像并在LED屏显示。

(二) 智能图像控制软件开发

智能图像控制系统的软件是用于集成和远程管理硬件设备、监测故障和执行其他相关任务的应用程序。在评估了当前流行的系统开发平台的优势之后,决定采用LabVIEW这一编程环境来构建图像控制软件。该软件是一个基于LabVIEW的多模块应用程序,旨在提供一套完整的图像管理功能和直观的用户界面。远程控制平台开发如图2所示。该软件由以下几个核心模块构成:图像与亮度管理模块、配置调整模块和视觉监控模块。图像与亮度管理模块是智能图像控制软件的重要组成部分,该模块通过TCP/IP协议与系统的硬件设备进行数据交换,实现对图像文件的远程管理和控制;参数设置模块提供了对智能照明系统各项参数的配置和调整功能。用户界面显示当前的参数设置,并提供交互式的输入框和控件,方便用户进行修改,并提供参数恢复功能,允许用户将参数恢复到默认值,以满足不同场景下的需求;视频监控模块利用无线通信技术读取网络摄像头的数据,并将摄像头数据实时显示在监控界面上。



> 图2 远程控制平台开发

(三) 公路交叉口智能电子交通标志牌预警方案建立

(1) 基于深度学习的道路使用者轨迹预测与图像处理

利用尖端的YOLOv8目标检测算法和DeepSORT目标跟踪算法,我们的系统不仅能够预测多种道路使用者的轨迹,以评估交叉口在夜间的风险水平,还能智能地根据道路情况改变图像标识,并在LED屏幕上显示相应的图像。首先,从包含不同道路使用者的视频数据中收集信息,并标记出每一帧中对象的位置和类型。然后,运用预训练的YOLOv8模型来识别视频中的目标,获取它们在每一帧中的位置、类别和置信度。这些检测结果随后被用作DeepSORT算法的输入,该算法结合了卡尔曼滤波器和深度特征提取,对目标进行有效跟踪,并为每个目标分配一个唯一标识符,以便我们可以追踪它们的移动路径。通过非线性回归模型,我们能够预测这些目标的运动轨迹。最终,系统将持续进行目标检测、目标跟踪和运动轨迹预测,并根据最新数据实时更新预测结果,实现对道路使用者运动轨迹的实时预测。

(2) 基于驾驶人视认性的方案构建

同一编号实验均采用同一车辆不同驾驶人在一个月内的累积

数据,并将收集得到的数据取平均值。根据环境亮度不同,电子交通标志牌选取8个亮度,分别是环境亮度最高的日间(天气晴朗,时间为中午11:00——下午2:00)为1500lx、2000lx、2500lx、3000lx;以及环境亮度不足的夜间为400lx、500lx、600lx、700lx。边框颜色参考交通色彩心理学相关论文<sup>[1]</sup>,共选取2个标志底色,分别为红色和黄色。但如标志的底色为黄色,当标志牌此时的背景颜色为黄色时,和标志的底色相同,显示不出二者的差异,不计入表中。实验因素及结果见表1。

方案编号	环境亮度	标志底色	标志牌亮度/lx	驾驶员平均反应时间/s
1	日间	黄色	1500lx	0.8908
2			2000lx	0.8454
3			2500lx	0.9225
4			3000lx	0.9979
5		红色	1500lx	1.5246
6			2000lx	1.4367
7			2500lx	1.5152
8			3000lx	1.6009
9	夜间	黄色	400lx	0.9828
10			500lx	0.9638
11			600lx	0.9891
12			700lx	1.0035
13		红色	400lx	1.6379
14			500lx	1.6092
15			600lx	1.6974
16			700lx	1.7961

表1 实验因素及结果

标志信息要素包括环境亮度、标志底色,以及标志牌亮度3个部分,通过实验模拟可获取驾驶人对不同情况下交通标志信息的反应时间。首先通过回归分析对标志各信息要素与驾驶人反应时间之间的关系进行拟合,获取不同标志信息要素排布下驾驶人对标志的应答情况。进而构建标志信息要素与驾驶人反应时间之间的交通标志模型<sup>[2]</sup>。

采用线性回归分析的方法,剖析交通标志信息要素与驾驶人对其应答情况间的关系。分析中,驾驶人对标志应答情况,即驾驶人对标志信息的反应时间Z为因变量,标志信息的3个要素:环境亮度Y<sub>1</sub>、标志底色Y<sub>2</sub>及标志牌亮度Y<sub>3</sub>为自变量。通过回归分析拟合得到交通标志反应时间模型的函数关系式见式(5),拟合度R<sup>2</sup>为0.86,R<sup>2</sup>的取值在0~1之间,取值越接近1说明拟合效果越好。多元多项式回归模型偏相关系数见表2。在交通领域的相关研究中,R<sup>2</sup>的取值在0.693~0.947之间<sup>[3]</sup>,本研究的R<sup>2</sup>取值在0.7以上,说明拟合效果符合要求。

模型	未标准化系数		标准化系数	t	显著性
	B	标准误差	Beta		
(常量)	-7.563	1.223		-5.236	<0.001
Y <sub>1</sub>	0.526	0.013	4.62	6.235	<0.001
Y <sub>2</sub>	0.236	0.131	1.223	8.643	<0.001
Y <sub>3</sub>	0.372	0.058	3.136	6.284	<0.001

表2 多元多项式回归模型偏相关系数表

$$Z = 0.516Y_1 + 0.256Y_2 + 0.361Y_3 - 7.462 \quad (5)$$

回归函数中,各变量的显著性均为<0.001(小于0.05),具有明显的显著性水平;同时,结合实验数据所得16个方案中可以发现,标志底色(Y<sub>2</sub>)为黄色时的驾驶人反应速度比为红色时快。且当环境亮度(Y<sub>1</sub>)为日间时,标志牌亮度(Y<sub>3</sub>)在2000lx左右时,驾驶人对交通标志信息的反应时间Z最短;当环境亮度

( $Y_1$ ) 为夜间时, 标志牌亮度 ( $Y_3$ ) 在 500lx 左右时, 驾驶人对交通标志信息的反应时间  $Z$  最短。

### 三、系统可靠性与安全性的影响因素

#### (一) 设计因素

##### (1) 可视性设计缺陷

在交通标志牌的设计环节中, 可视性设计是极为关键的部分, 然而却常常存在一些缺陷问题。就标志尺寸而言, 如果其设计得过小, 那么在规定的观察距离之外, 驾驶员便很难清晰地辨认出标志所传达的内容。在高速公路这样车速较快的环境下, 部分距离较远的出口指示标志, 要是尺寸没有达到合理标准, 驾驶员往往需要行驶到距离出口很近的地方才能看清指示信息, 而此时由于距离过近, 根本来不及做出诸如合理变道这样的正确驾驶动作, 这无疑会大大增加发生交通事故的风险。

##### (2) 结构设计不合理

交通标志牌的结构设计一旦出现不合理的情况, 将会带来诸多安全隐患。在对支撑结构进行强度计算时, 如果出现失误, 没有全方位、充分地考虑当地实际的风力、地震等自然因素, 那么当遭遇大风天气时, 强大的风力作用很可能致使标志牌被直接吹倒, 又或者在发生地震的时候, 由于结构无法承受相应的震动力量, 标志牌就有可能发生坍塌现象。而无论是被吹倒还是坍塌, 都会对过往的行人与车辆造成极为严重的安全威胁, 危及人们的生命和财产安全。

#### (二) 安装因素

交通标志牌的安装位置有着严格的要求, 其必须符合交通工程学中关于视距、视角等多方面的规范要求。然而, 实际情况中却时常出现安装位置错误的现象。有的工作人员会将标志安装在弯道的盲区内, 这样一来, 驾驶员在驾驶车辆经过弯道时, 根本无法提前获取到相应的路况提示信息, 也就没办法提前做好应对准备, 很容易在弯道处出现意外情况。若标志牌被周围的广告牌、树木等物体遮挡住, 会使得交通参与者在正常行驶过程中看不到标志, 导致交通信息传递受到阻碍, 交通参与者无法根据标志内容做出正确的驾驶决策, 进而对交通安全产生严重的影响, 增加了交通事故发生的概率。

#### (三) 维护管理因素

##### (1) 缺乏定期巡检

在日常使用中, 电子交通标志牌可能会出现一些损坏情况, 比如牌面出现轻微的划痕, 电线老化等, 虽然看似不起眼, 但却可能影响其安全性, 导致在特定光线条件下可视性变差; 又或者支撑结构上出现小锈斑, 若不及时处理, 随着时间的慢慢推移, 这些小问题很可能会逐渐演变成大的问题, 进而影响标志牌的正常使用, 甚至还会威胁到其整体的安全性, 使原本能够正常发挥作用的标志牌失去应有的功效。

##### (2) 修复更新不及时

对于交通标志牌而言, 及时的修复和信息更新是维持其有效性的重要举措, 可往往在这方面容易出现滞后的情况。当标志牌

遭到损坏, 或者因恶劣天气 (如暴雨、大风、暴雪等) 导致部分损坏后, 如果相关部门不能迅速安排人员对其进行修复, 那么损坏的标志牌就会持续处于不正常的状态, 无法准确地为交通参与者提供信息, 容易引发混乱。

### 四、提高系统可靠性与安全性的措施

#### (一) 优化设计环节

##### (1) 增强可视性设计

依据不同的道路等级、车速、环境等因素, 科学确定标志尺寸、合理搭配颜色 (严格按照国家标准执行), 规范字符设计, 提高在各种条件下的辨识度。

##### (2) 完善结构设计

通过精确的力学计算, 结合当地的气象、地质等实际情况, 选用合适的支撑结构形式和材料, 保证标志牌具备足够的抗风、抗震能力。同时, 优化牌面安装角度, 以达到最佳的反光和可视效果, 提高其整体性能的可靠性。

#### (二) 规范安装流程

按照交通工程相关标准和规范, 通过精确测量、模拟分析等手段, 确保标志牌安装在交通参与者能及时、清晰看到的位置, 充分考虑视距、遮挡等因素, 避免出现视觉死角。尽量在道路施工前就进行详细的交通标志设置规划, 结合道路设计图纸准确布局。

#### (三) 强化维护管理

##### (1) 建立定期巡检制度

制定详细的巡检计划, 定期安排专业人员对交通标志牌进行全面检查, 包括外观检查、功能检测 (测试反应速度、可视角度等), 并做好详细记录, 及时发现存在的问题。

##### (2) 及时修复更新

针对巡检中发现的问题, 迅速组织人员进行修复, 对于损坏严重无法修复的标志牌及时更换。同时, 密切关注道路变化情况, 及时更新标志信息, 确保交通参与者获取到准确、有效的交通信息。

### 五、结论

可变电子交通标志牌的安全性与可靠性是一个涉及多方面的系统工程, 需要从设计、安装到维护管理等各个环节进行严格把控和持续优化。本文从该系统的设计思路与安全性可靠性方面提供了良好的设计与解决方案。相比传统交通标志牌, 该系统更好地提升交通标志牌的安全性与可靠性, 适应日益复杂的交通需求。具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 周鑫. 色彩心理学在道路交通标志中的应用研究 [J]. 色彩, 2024, (02): 36-38.
- [2] 刘祥敏, 李佳, 刘一兵, 等. 基于驾驶人满意度的机场陆侧交通标志设计方案评价指标权重研究 [J]. 交通信息与安全, 2022, 40(05): 147-155.
- [3] 解少博, 阿比旦, 魏朗. 公路运行车速预测模型对比分析 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2013, 33(05): 81-85. DOI: 10.19721/j.cnki.1671-8879.2013.05.015.



# 多功能智能床的设计

陈轩<sup>1</sup>, 杨颖<sup>1</sup>, 杨士娟<sup>2</sup>, 吴晗宇<sup>1</sup>, 尹元航<sup>1</sup>, 艾卓恒<sup>1</sup>

1. 临沂大学自动化与电气工程学院, 山东 临沂 276005

2. 临沂大学信息处, 山东 临沂 276005

**摘 要：** 为了满足人们对高品质健康生活的需求，针对目前多功能智能床市场的相对空缺，提出一种以 STM32 单片机为主控器件，结合温度检测、紫外线照射消毒、电机驱动等外围电路，可以改善使用者睡眠质量的智能床的设计方案。该智能床系统由位置控制模块、温度调节模块、杀菌消毒模块、远程控制模块以及电源电路组成，可实现自动调节床体高度、自动调节温度、消毒和远程云端控制等多项功能，以满足人们对高品质生活的需求。该多功能智能床可广泛适用于家庭、宾馆及医院等使用场合。

**关 键 词：** STM32 单片机；位置控制；变温；杀菌；远程控制

## The Design of a Multi-Functional Smart Bed

Chen Xuan<sup>1</sup>, Yang Ying<sup>1</sup>, Yang Shijuan<sup>2</sup>, Wu Hanyu<sup>1</sup>, Yin Yuanhang<sup>1</sup>, Ai Zhuoheng<sup>1</sup>

1. School of Automation and Electrical Engineering, Linyi University, Linyi, Shandong 276005

2. Information Office of Linyi University, Linyi, Shandong 276005

**Abstract：** In order to meet people's demand for high-quality life and healthy life, in view of the relative vacancy in the current multi-functional smart bed market, a design scheme of smart bed with STM32 microcomputer as the main control device combining temperature detection, ultraviolet sterilization by irradiation, motor drive and other peripheral circuits that can improve the user's sleep quality is proposed. The smart bed system is composed of a position control module, a temperature regulation module, a sterilization and disinfection module, a remote control module and a power supply circuit, which can realize a number of functions such as automatic adjustment of bed height, automatic temperature adjustment, sterilization and remote cloud control to meet people's needs for high-quality life. This multi-functional smart bed can be widely used in homes, hotels and hospitals.

**Keywords：** STM32 microcomputer; position control; variable temperature; sterilization; remote control

## 引言

随着科技的不断进步和人们生活水平的提高，智能家居产品逐渐成为现代生活的一部分。在众多智能家居产品中，多功能智能床因其能够提供更为舒适、便捷和健康的睡眠环境而受到广泛关注。传统的床具功能单一，仅能满足基本的睡眠需求。然而，随着人们对生活质量要求的提高，对床具的功能性和智能化程度有了更高的期待。因此，多功能智能床的开发具有重要的现实意义和应用价值。

## 一、多功能智能床的总体设计方案

智能床采用 STM32 单片机作为核心控制器，将 220V 交流电转换为 3.3V 直流电为其供电，协调整个系统的运行与操作。本设计采用压力传感器、温度传感器、串口 WIFI ESP8266 模块及声音传感器采集人体健康数据和环境数据，由这些传感器获取到的模拟信号通过 ADC 转换为数字信号后，STM32 单片机可通过内置的算法进行分析和处理，结合位置控制模块、温度调节模块、杀菌模块以及远程控制模块来实现高度调节、温度调节、杀菌消

毒以及远程控制功能。多功能智能床的结构框图如图 1 所示。

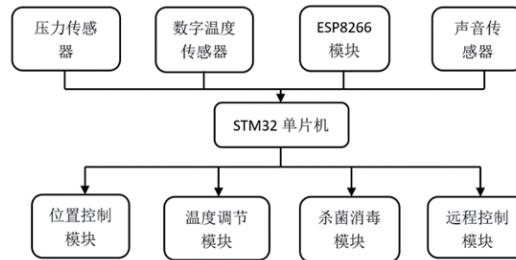


图 1 多功能智能床的结构框图

基金项目：临沂大学大学生创新创业训练计划项目（NO：X202410452332）

作者简介：

第一作者：陈轩（2003.04-），男，汉族，山东烟台人，临沂大学自动化与电气工程学院，自动化专业学生。曾获《第十二届中国工业智能挑战赛》二等奖；《临沂大学第九届大学生科技创新大赛》优秀奖。

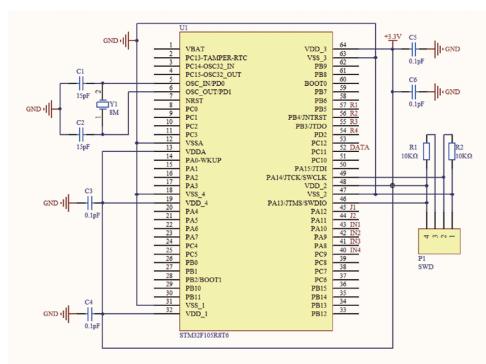
通讯作者（导师）：杨颖（1970.04-），女，汉族，山东临沂人，教授，博士研究生，博士，研究方向：电子技术、光纤传感等方面的教学及研究工作，邮箱：1450921015@qq.com



## 二、多功能智能床的硬件设计

### (一) 单片机小系统的设计

STM32F105RBT6是一款32位微控制器单元,属于STM32系列,是一款高性能、低功耗的微控制器单元(MCU),功能强大、使用灵活,适用于多种嵌入式系统和物联网应用<sup>[1]</sup>。STM32F105RBT6单片机在运行过程中,使用晶体振荡器来提供稳定的振荡频率,以确保单片机能够准确地执行程序并与其他外部设备进行同步<sup>[2]</sup>。同时,还要接入一个SWD串行口。单片机的13、19、32、48、64号引脚连接电源,12、18、31、47、63号引脚接地,5、6号引脚连接晶体振荡器两端,串行口SWD的1、2、3、4号引脚分别与单片机的47、49、46、48号引脚相连。单片机的52号引脚连接测温电路的输出端,44号引脚与温度控制电路连接,45号引脚与紫外线杀菌电路连接,40、41、42、43号引脚用于与位置控制电路连接,54、55、56、57号引脚用于连接远程控制电路。单片机小系统控制电路图如图2所示。



> 图2 单片机小系统控制电路图

## （二）智能床的温度检测与调节模块的设计

温控方面,电热丝采用聚酯漆包镍铬丝,在镍铬合金丝表面涂覆一层聚酯漆膜,是一种高性能的电热材料,具有优异的绝缘性能和耐高温性能,可以在高温环境下长时间工作而不会损坏。此外,它还具有良好的柔韧性和可塑性,可以根据需要制成各种形状和尺寸。使用时将其放入床垫夹层中。

DS18B20 数字温度传感器是一款高精度、单总线通信的数字温度传感器,其适用温度范围大 ( $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ),测量精度较高 (常温下为  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ),可以满足设计需要<sup>[3]</sup>。DS18B20 采用 1-Wire 通信,只需要一根数据线与微处理器进行通信。设计中还可利用 DS18B20 传感器实现报警功能,可以设置高温和低温触发报警。测温电路图如图 3 所示。

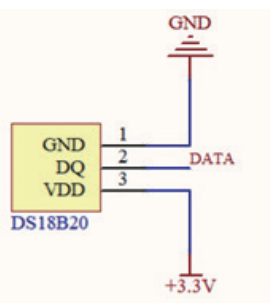
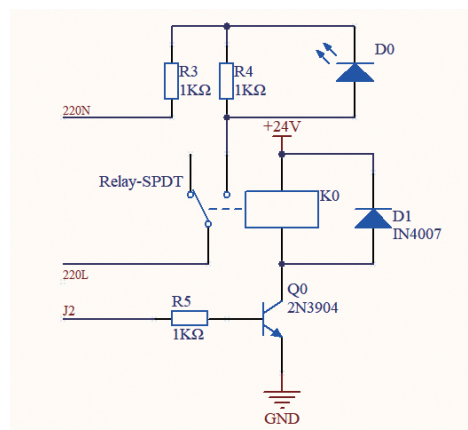


图3 测温电路图

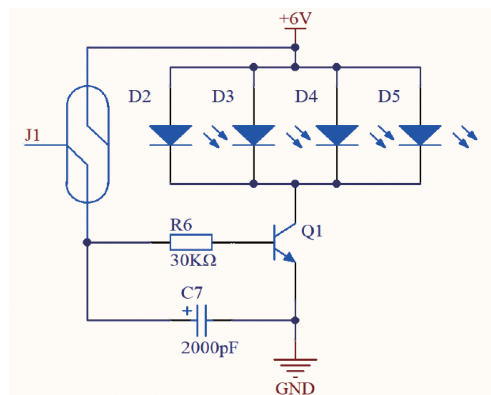
本设计中采用 DS18B20 数字温度传感器实时监测床垫表面的温度, DS18B20 传感器将检测到的温度信号转换成数字信号并将其送至单片机中, 单片机接收到该信号, 并在显示屏上显示温度。用户还可以自行设定温度, 低于设定的温度给电热线通电进行加热, 高于设定的温度就断开电热线开关进行自然冷却, 从而实现对床垫温度的精确控制, 调温范围在  $25^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  之间, 保持用户的睡眠环境在最佳状态<sup>[4]</sup>。加热电路图如图 4 所示。



> 图4 加热电路图

### （三）多功能智能床的灭菌模块的设计

因紫外线消毒灯使用不当可能会伤害人体,所以当压力传感器没有感受到压力即无人使用智能床时,利用 DS1302 时钟模块,用户可以对消毒时间进行调节,之后启动杀菌模块,电路图如图 5 所示。灭菌功能启动时,智能床主动使坐垫底部的磁条靠近坐垫,使干簧管继电器的触点在磁条的作用下闭合,干簧管继电器导通,进而使三极管  $Q_1$  处于导通状态,电容  $C_7$  被充电,此时,四个紫外线二极管 D2~D5 被点亮,它们通过辐射紫外线对床体进行消毒。此时,如果在坐垫处安装的 HX711 压力传感器感受到压力,即有人正在使用智能床时,智能床将自动地使坐垫底部的磁条远离床垫,进而使干簧管继电器内部的舌簧片分离,将线路切断,但紫外线照射灯 D2 ~ D5 还可以继续工作,因为之前被充上电荷的电容器  $C_7$  可以通过电阻  $R_6$  向三极管  $Q_1$  泄放电荷,此时延时电路开始工作,一次延时消毒的时间可以通过调节  $C_7$ 、 $R_6$  的数值而改变,通常预设 3 ~ 5 分钟为宜。电容器  $C_7$  放电结束后,紫外线照射灯 D2~D5 全部熄灭,完成一次消毒,之后该消毒杀菌电路便处于待机状态<sup>[5]</sup>。



> 图5 杀菌电路图

#### （四）智能床位置控制模块的设计

智能床位置的控制采用 STM32 单片机控制电机驱动芯片 ULN2003, 进而控制步进电机 28BYJ-48 的转向实现, 步进电机采用数字控制电机 28BYJ-48<sup>[6]</sup>。智能床位置控制的电路图如图 7 所示, 图中 ULN2003 为高电压、高电流输出的电机驱动芯片, 其输入引脚 IN1~IN4 分别对应步进电机的 A、B、C、D 四相, 用于控制其对应输出引脚 C1~C4 的高低电平。当输入为高电平时, 相应的输出引脚为低电平, 对应的指示灯 D6~D7 被点亮。当人躺在床上, 触发 HX711 压力传感器, 其内置的电桥电路会产生一个微小的电压差, 这个电压差通过 HX711 的模拟输入通道 INA+ 和 INA- 引脚输入到 HX711 芯片中, 并经过其内置的差分放大器放大。放大之后的信号被送到 24 位的 A/D 转换器中进行数字化处理, 并通过输出引脚 DOUT 输出。当步进电机 28BYJ-48 接收到 HX711 压力传感器传来的信号后, 会产生角位移, 使步进电机发生转动, 从而带动床垫进行上升或者下降, 以此来完成智能床的位置控制<sup>[7]</sup>。

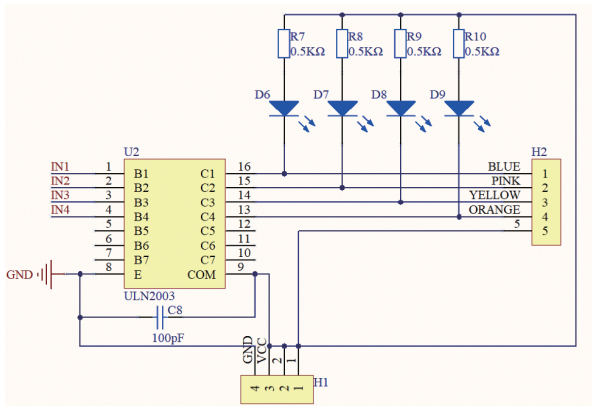


图6 位置控制电路图

#### （五）智能床远程控制模块的设计

设计中通过安装在智能床上的 HJ720 摄像头对睡眠者进行实时监控和数据采集, 智能床可以记录用户的睡眠过程, 生成详细的睡眠报告, 方便用户回顾和分析自己的睡眠状况<sup>[8]</sup>。还可以通过移动端控制智能床, 建立移动端 APP, 通过移动端发送控制指令到应用服务器, 应用服务器接收来自移动端的控制指令并转发给智能床, 智能床接收到控制指令后执行相应地操作。还可以使用移动端 APP, 通过搭建 STUN 服务器, 与智能床显示器建立点

对点 (P2P) 通道, 实现远程的视频通话功能<sup>[9]</sup>。用户只需要通过智能手机或平板电脑, 无论身处何处, 都能使用移动端 APP 中的控制按钮对智能床的温度、杀菌消毒等功能进行实时控制。智能床的摄像头还可以作为家庭安全监控系统的一部分, 实时监控家中的情况, 确保家庭成员的安全<sup>[10]</sup>。

### 三、多功能智能床的控制流程图

开启电源, HX711 压力传感器和 DS18B20 温度传感器开始工作, 开始采集相关信息, 然后将采集到的信息进行模数转换并传输给单片机。单片机把接收到的信息进行处理并发出指令, 完成温度检测、加热、紫外线灯开启或关闭、杀菌消毒等功能。当压力传感器检测到无压力输入即床上没人时, 开启紫外线灯开始杀菌消毒; 若有压力输入即床上有人时, 杀菌电路便会切断, 同时床体会自动调整到合适的位置。温度传感器开始工作后, 若检测到床上温度过低时, 加热电阻工作, 开始加热, 当加热到合适温度时便停止加热。单片机控制系统程序流程图如图 7 所示。

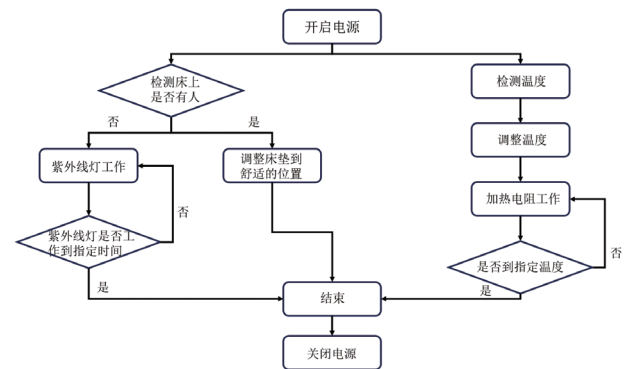


图7 单片机控制系统程序流程图

### 四、结束语

通过对现代智能家居的分析与研究, 对传统卧具进行改良, 以满足人们对于智能家居的需求。使用者可以根据自身的需求, 使该多功能智能床实现位置调整、杀菌、加热等多项功能。该智能床集多功能于一体, 可以让使用者获得科学、舒适、健康的睡眠体验, 极大提升使用者的生活品质。

### 参考文献

- [1] 赵毅刚, 赵光权, 刘旺. 单片机原理及应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.1:5-7.
- [2] 崔浩斌, 刘伟. 基于 STM32 单片机的智能家居控制系统设计研究 [J]. 微处理机, 2020(01):61-64.
- [3] 雷雪梅. 数字温度传感器 DS18B20 的结构及应用简介 [J]. 科技创新与应用, 2017(02):62.
- [4] 苏晨, 唐朋, 宋瑞仙, 骆桂芳. 基于需求分析和情境 FBS 模型的智能床设计研究 [J]. 机械设计与研究, 2021(06):16-21+26.
- [5] 冯亚军. 基于单片机的智能家居控制系统设计与实现 [J]. 集成电路应用, 2023(12):11-13.
- [6] 郝建峰, 任国凤. 一种基于单片机控制的智能电动窗帘系统的设计, 电脑知识与技术, 2022, 18 (17):117-119
- [7] 陈敏, 谢友春, 李果. 基于多传感器的智能床的设计与研究 [J]. 信息记录材料, 2020(08):196-198.
- [8] 詹佑, 肖衡. 智能床的研究与设计 [J]. 电子制作, 2020(24):38-40.
- [9] 高伟杰, 聂旭, 门紫薇, 等. 基于 Esp32 单片机的智能窗户的设计 [J]. 现代信息科技, 2022(06):55-57.
- [10] 陈志伟, 李志超, 刘天丽, 等. 基于 STM32 的智能家居垃圾桶设计 [J]. 机械, 2022, 49(2):67-72.

# 光伏电站建设中的关键技术与质量把控

秦中军

陕西吉电能源有限公司, 吉林 长春 130117

**摘 要：** 随着对能源的需求逐渐上升和环境保护压力的加大，光伏发电逐渐受到了大家的关注。本文以光伏电站的建设为着眼点，描述了其组件，发电系统的特性，解剖了促进能源转换和契合电网的建设需求，并揭示了选址和设备的问题、建设中的问题并提出了优化选址，严选设备和规范建设的策略，目的是为光伏电站的优质建设和促进清洁能源的开发提供借鉴。

**关 键 词：** 光伏电站；关键技术；质量把控；能源转换；清洁能源

## Key Technologies and Quality Control in the Construction of Photovoltaic Power Stations

Qin Zhongjun

Shaanxi Jidian Energy Co., LTD. Jilin, Changchun 130117

**Abstract：** With the increasing demand for energy and the growing pressure of protection, photovoltaic power generation has gradually attracted attention. This paper focuses on the construction of photovoltaic power stations, describing their components and the characteristics of power generation system. It also delves into the key technologies that facilitate energy conversion and meet the construction needs of the power grid, revealing the issues in site selection equipment, the problems in the construction process, and proposing optimization strategies for site selection, strict equipment selection, and standardized construction. The aim is to provide a reference the high-quality construction of photovoltaic power stations and the promotion of clean energy development.

**Keywords：** photovoltaic power station; key technology; quality control; conversion; clean energy

### 引言

在世界范围内应对气候变化和追求能源可持续发展的时代背景下，以光伏发电为主要代表的清洁能源正以空前的态势蓬勃兴起。光伏电站具有清洁、可再生和分布广的优点，已逐步成为我国能源领域中的主力。但从项目规划至建成运行，这中间涉及许多复杂而又至关重要的技术环节，稍有疏忽，就会影响电站发电效率，运行稳定性和使用寿命。所以深入探讨光伏电站施工关键技术及质量把控要点对提高光伏产业整体水平和保证能源供应质量有着极其重要的实际意义。

### 一、光伏电站的技术特点

#### （一）光伏组件技术

光伏组件作为光伏发电中最核心的组成部分，技术得到了迅速的发展。目前市场上主导的晶硅光伏组件正在不断提高其转换效率，其中单晶硅组件的转换效率能够超过20%。以隆基绿能HJT电池技术为例，对电池结构进行优化，减少光生载流子的复合损失并提高开路电压，从而显著提高同等光照下组件发电量。与此同时，像钙钛矿这样的新型光伏材料也开始受到关注，它以其低成本和高吸光系数为特点。在实验室中，钙钛矿太阳能电池的转换效率已经超过了25%，尽管其稳定性仍需进一步增强，但其发展前景非常广阔<sup>[1]</sup>。

#### （二）光伏发电系统集成技术

完整的光伏发电系统主要由光伏阵列，逆变器，控制器和储

能装置组成，系统集成技术非常关键。以华为开发的智能光伏解决方案为例，该方案通过优化逆变器和组件之间的匹配性，实现了最大功率的追踪，从而确保光伏阵列始终处于最优的发电状态。并且，其集成的智能监控系统能实时监测电站运行参数，远程调控，及时发现并处理故障，大大提高了电站的运维效率，保障发电稳定性。

#### （三）跟踪系统技术

跟踪系统得到了广泛的应用，以实现太阳能的最大化利用。依据太阳的运动路径，单轴追踪系统能够确保光伏组件在一天之内始终与太阳的光线保持近乎垂直的状态，相较于固定的安装方式，其发电能力可以增加10%–30%。与内蒙古某大型光伏电站类似，该电站地形平坦空旷，利用平单轴跟踪系统根据本地纬度及季节进行倾斜角度调节，全面捕捉太阳，发电效益得到有效提高。且双轴跟踪系统更灵活准确，可同时追踪太阳方位角与高度

作者简介：秦中军（1976.03–），男，汉族，吉林公主岭，本科，研究方向：电力系统及其自动化。



角,进一步提高发电效率,适合发电效率有极高要求且场地条件许可的电站<sup>[2]</sup>。

#### （四）储能技术

由于太阳能具有间歇性特点,储能就成了保证电站供电稳定的一个关键。当前,锂电池储能得到广泛应用,例如宁德时代针对光伏电站而设计的储能系统能量密度大,充放电效率高,使用寿命长。本实用新型能够白天存储多余的电能,晚上或者阴雨天进行放电并平缓功率输出以满足用户持续用电的要求,提高光伏发电可靠性的同时还可以提高对电网的消纳。另外抽水蓄能和飞轮储能技术各有优缺点,可以针对不同的情景进行选择。

#### （五）并网技术

光伏发电接入电网,需要符合电网苛刻要求。逆变器作为并网关键设备,应做到把直流电转换成满足电网标准且具有低谐波畸变和高功率因数的交流电。阳光电源大功率并网逆变器通过先进控制算法有效地抑制谐波、功率因数可超过0.99、保证电能质量,本发明保证了电站的安全,稳定和高效并网,避免了对电网的影响,达到了与电网友好交互的目的。

#### （六）监控与运维技术

监控和运维关系到电站的长期平稳运行。通过运用大数据和物联网技术,例如特变电工的光伏电站监控平台,能够对组件的温度、发电量、逆变器的状态等大量数据进行实时的采集和分析。当检测到组件热斑,逆变器故障及其他异常情况时,马上进行报警和精准定位。运维人员在移动端帮助下可远程操控、快速抢修、缩短停机时间、降低运维成本、提高电站寿命<sup>[3]</sup>。

## 二、光伏电站建设的必要性

### （一）应对能源危机

传统化石能源的储量是有限的和不可再生的,在世界范围内能源供应都存在着短缺的危险。根据国际能源署的统计数据,如果全球的光伏装机量能够按照预期的方式增长,那么到2050年,太阳能有望成为主要的能源来源之一,这将极大地缓解能源供应和需求之间的不平衡。我国的西部和北部地区蕴藏着丰富的太阳能资源,大型光伏电站的兴建就像“能源富矿”的开采一样,把资源优势变成电力并输送到全国各地,确保了能源的供给安全。

### （二）环境保护需求

化石能源在燃烧过程中释放出大量温室气体和污染物是造成雾霾和全球变暖和其他环境问题产生的主要原因。在光伏发电的操作中,它是零排放的,每发一度电,与火电相比,可以减少大约0.8千克的二氧化碳排放量。以青海塔拉滩光伏电站为例,该电站的大规模并网发电使得周边区域空气质量明显改善,植被由于遮挡风沙和减少蒸发而得到恢复,生态环境朝着良性的方向发展,达到能源和环境的和谐共生<sup>[4]</sup>。

### （三）能源结构优化

我国目前的能源结构仍然是以煤炭为主要能源,清洁能源的比重还有待增加。大力发展光伏发电可以逐渐改变我国能源结构的单一状况。以山东地区为例,近几年不断推进分布式光伏项目

的建设,广泛分布于工业园区,农村屋顶等地,实现了火电和风电优势互补,减少了对火电的依赖性,促进能源供应的稳定性和多样性,促使能源结构朝着清洁的方向发展。

### （四）促进经济发展

光伏产业涉及研发,制造,施工,运维多个环节,产业链较长,拉动就业较强。上游硅料生产企业向下游电站运维服务商的转变创造了巨大的就业岗位。比如河北保定“中国电谷”,聚集了很多光伏企业形成了产业集群,年产值上百亿,带动了地方经济的发展,同时也吸引了大批人才涌入,为地区可持续发展做出了贡献。

### （五）提高能源利用效率

分布式光伏发电接近用户侧,降低了输电损耗。比如在城市里商业建筑和居民小区装上光伏板后,就会自发自用并将剩余电能接入网络。以广州一写字楼为例,屋面光伏系统在日间发电为楼内办公提供电力,在高峰期消减了电网用电负荷、降低了综合用电成本、提高了能源综合利用效率、最大限度地就近消纳了能源和效益<sup>[5]</sup>。

## 三、光伏电站建设现存问题

### （一）选址不合理

一些光伏电站在早期选址时没有充分考虑太阳能资源,地形地貌和土地性质的影响。有的山区电站在选址时忽略了山体遮挡的影响,造成某些构件光照不充分,大大降低了发电效率。也有一些工程占用基本农田和生态保护红线范围,不仅存在违反规定的情况,而且后续还有整改拆除的危险,导致了投资的浪费,例如某地光伏工程就因为非法占用农田而被勒令停工整治。

### （二）设备质量参差不齐

光伏市场竞争激烈,一些厂家为了降成本而牺牲了设备质量。质量较差的光伏组件会出现功率虚标现象,其实际产生的电能远远小于标称值;逆变器散热差,转换效率低的现象频繁出现。西北某站由于低价购买的逆变器经常发生故障,维修更换费用高昂,而且经常停运影响了发电收益,总体投资回报率明显下降<sup>[6]</sup>。

### （三）施工不规范

在施工环节中经常出现基础不牢固,组件安装角度有偏差,电气连接有松动的现象。例如沿海地区的一些光伏支架基础由于没有考虑到强风和海水的侵蚀,会在短期内发生锈蚀和松动等现象,危及电站的安全运行;组件安装如果角度偏差过大,将导致阳光入射不畅,发电量减少,从而影响电站的长期平稳运行。

### （四）并网困难

一方面电网接纳能力受限,某些区域的电网规划落后于光伏的发展,新电站接入电网后面面临接入容量不足的窘境;另一方面光伏电站并网技术标准实施不严格,谐波和电压波动等电能质量方面的问题没有得到有效的解决,从而影响了电网的平稳运行,造成并网审核的周期变长,电站不能如期投运<sup>[7]</sup>。

### （五）运维管理粗放

很多电站的运维都是靠人工巡检来完成的,存在着效率低下和漏检等问题。运维人员专业技能不强,在遇到复杂的故障时很



难及时进行排查和维修。并且缺少系统性的运维规划，没有根据设备的使用寿命，运行环境等因素制定差异化的维护策略，例如老旧组件没有进行重点监控，加快了老化速度，降低了电站的整体使用寿命，提高了运营成本等。

**（六）储能配套不足**

伴随着光伏装机的增加，储能配套的滞后性问题突出。储能成本较高制约了其大范围推广应用，大部分电站储能配置占比偏低，难以解决阴雨天时间长，夜间用电峰值大等情景，发电和用电时空不匹配现象凸显，光伏发电的稳定性和可靠性受到影响，从而降低了其在市场上的竞争优势。

**（七）政策与标准不完善**

光伏产业的快速发展使得一些政策的落地出现了滞后的现象，补贴的发放也没有及时的影响到了企业的资金周转。技术标准更新缓慢，对新兴技术，复杂场景等缺少相应规范，例如分布式光伏和建筑一体化防火，防水和结构安全等方面的标准欠缺，对工程的设计，施工和验收等造成了麻烦，妨碍了行业的健康发展<sup>[9]</sup>。

**四、光伏发电站建设质量把控策略**

**（一）科学选址与规划**

在选择地点时，我们需要整合来自多个来源的数据，并利用地理信息系统（GIS）来精确地分析太阳能的辐射量、地形的坡度以及土地的使用规划等关键信息。优先考虑阳光充足，地形平坦开阔，远离遮挡并满足土地政策要求的地区，例如新疆戈壁滩和甘肃荒漠，并编制了电站选址适宜性详细图。在规划阶段，综合考虑周围用电负荷，电网接入情况等因素，适当确定电站的规模和布局以保证发电就地消纳和电网输送的均衡。

**（二）严格把控设备质量**

建立严格设备采购标准，优先选择通过国际、国内权威认证（如 TUV、CQC）的产品。在组件、逆变器等关键设备入场之前进行全面检查，抽查的比例不应低于10%，检查内容包括功率、效率、可靠性等关键指标。和优质供应商达成了长期的合作协议以确保设备全生命周期的质量追溯和售后。例如晶澳太阳能向用户提供25年组件功率质保。

**（三）规范施工流程**

编制了详细的施工方案和作业指导书，明确了基础施工，组件安装和电气布线关键工艺的工艺标准。对施工人员进行岗前培训并考试合格者上岗，在施工时严格实行“三检制”——自检，互检和专检。以基础浇筑为例，根据设计要求对混凝土强度，钢筋规格及预埋深度进行控制，以保证支架的牢固；在组件的安装过程中，我们使用了高精度的测量设备来校正角度，确保误差在±0.5°范围内，从而确保了发电的性能<sup>[9]</sup>。

**（四）强化并网管理**

电网企业超前谋划电网升级改造、留足光伏接入容量、优化电网结构等。光伏电站的建设与并网技术的研究同步进行，按照电网的规范进行无功补偿和滤波装置的配置，以保证电能质量的合格。建立并网预评估机制对电站在投运前进行综合试验，经整改达标后

接入电网，以缩短并网周期，确保电网和电站的安全、平稳运行。

**（五）精细化运维**

建设智能运维体系，采用无人机，智能机器人巡检和大数据分析相结合的方式，对其进行全方位和实时的监控。利用故障诊断模型对可能出现的问题进行提前预警并准确定位故障点。定期对运维人员进行技术培训，培训范围包括设备原理，故障排除和软件升级，提高专业素养。根据设备的运行数据，我们制定了个性化的维护方案，例如对运行超过5年的组件进行加密检测，及时替换老化的部件，以延长电站的使用寿命。

**（六）优化储能配置**

综合考虑电站的发电特性，用电需求及成本效益等因素，对储能容量和充放电策略进行了合理的设置。鼓励技术创新以降低储能成本等，例如开发新的低成本电池材料和优化储能系统集成等。为了鼓励企业增加对储能的投资，政府推出了补贴政策，并倡导“光伏加储能”的联合运作方式，以增强光伏发电的稳定性并拓宽其应用范围，例如进入电力辅助服务市场。

**（七）完善政策与标准体系**

政府部门要加快政策落地、简化申请补贴程序、确保资金分配及时、稳固企业的投资信心。行业协会与企业 and 科研机构合作，跟进技术发展和更新标准，瞄准分布式光伏建筑应用和新型储能接入的前沿领域，迅速推出设计，施工和验收规范以填补行业空白，构筑行业规范有序发展的基础<sup>[10]</sup>。

**五、结语**

光伏发电站作为发展清洁能源的关键途径，在技术突破和质量提升方面任重而道远。从核心组件的研发、系统集成、项目选址、运维管理等各个环节都紧扣在一起。唯有持续攻克关键技术难题，强化全流程质量把控，依托政策引导与标准规范，方能推动光伏发电站迈向高质量、可持续发展新阶段，给全球能源转型和生态保护带来澎湃动力，使太阳能点亮人类的绿色未来。

**参考文献**

[1]张彩军，范康靖，张轩，等. 山地光伏发电站建设土质质量控制要点[C]//《施工技术（中英文）》杂志社，亚太建设科技信息研究院有限公司. 2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集（上册）. 中建二局第一建筑工程有限公司，2024:2.

[2]翟佳怡，张洪涛，朱毅. 新能源光伏发电站项目建设管理思考[J]. 中国战略新兴产业，2024,(05):80-82.

[3]吕建. 基于概率犹豫信息集的海上光伏电站选址决策研究[D]. 燕山大学，2023.

[4]何昌婷. 光伏电站机电设备安装工程施工质量控制措施[J]. 居舍，2022,(14):111-113.

[5]王立军. 内蒙古能建集团光伏发电企业价值评估实证研究[D]. 内蒙古工业大学，2020.

[6]马逢甲，田发龙，王鹏. 大型地面光伏电站关键技术及存在问题[J]. 智能城市，2020,6(03):74-75.

[7]叶建春. 光伏电站建设项目预算管理研究[D]. 东南大学，2019.

[8]赵兴有. 双柏县大庄并网光伏电站开发风险管理研究[D]. 昆明理工大学，2018.

[9]尉博旭. 大连地区10kV光伏电站并网及关键问题研究[D]. 大连理工大学，2018.

[10]吴菲. 光伏电站环境影响评价技术规范研究[D]. 南京信息工程大学，2012.

# 智能技术助力国网营销稽查监控升级

赵梦琳

国网河北省电力有限公司南阳市供电分公司, 河北 邢台 051800

**摘 要 :** 随着电网公司经营规模不断扩大、结构日趋复杂化, 传统的稽查和监测方法已经很难适应这种要求。本文对智能技术在国网公司的营销稽查监测中的运用进行深入研究, 在对当前形势和存在的问题进行了分析的基础上, 对大数据、人工智能、物联网等智能技术的应用依据进行阐述, 希望能够保证电力企业的经济效益和服务品质, 推动国网营销业务向智能化、高效化方向发展。

**关 键 词 :** 智能技术; 国网营销; 稽查监控; 大数据; 人工智能

## Smart Technology Empowers the Upgrade of State Grid Marketing Inspection and Monitoring

Zhao Menglin

Nangong City Power Supply Company, Grid Hebei Electric Power Co., Ltd. Xingtai, Hebei 051800

**Abstract :** With the continuous expansion of business scale of power grid companies and the increasing complexity of their structures, traditional inspection and monitoring methods are becoming increasingly difficult to meet these demands. This paper delves the application of smart technology in the marketing inspection and monitoring of the State Grid. It analyzes the current situation and existing problems, and elaborates on the application basis big data, artificial intelligence, and other smart technologies, with the aim of ensuring the economic benefits and service quality of power enterprises, and promoting the development of State marketing business towards intelligence and efficiency.

**Keywords :** smart technology; State Grid marketing; inspection and monitoring; big data; artificial intelligence

### 引言

目前国网公司作为供电主体, 其市场经营范围不断地扩展, 覆盖大量的用电客户和各种业务种类, 例如居民用电、工业用电、商业用电等, 还涉及到业扩报装、电费收缴、用电核查等繁琐的业务过程。同时随着智能电网的不断发展, 用电数据的爆炸性增长, 对市场监督和检查工作提出更高的要求。传统的电力市场监管手段以人工为主, 无法应对海量、复杂的商业数据, 也无法满足新时期电力市场的发展需求。而智能科技的迅猛发展, 大数据、人工智能以及物联网等技术在电力系统各领域的成功运用, 能够为电网公司的营销稽查监督管理工作带来新的思路与方向。

### 一、国网营销稽查监控的现状与问题分析

#### (一) 稽查监控业务范畴与流程

电网公司的市场监督管理覆盖电力市场的所有重要环节, 在电力电价的实施中, 稽查人员要对电费的核算进行核查, 确保电价的执行与国家有关政策及公司的有关规定相一致。在电能计量方面, 应检查各种计量器具的计量资料, 保证计量的真实准确。在业扩报装过程中, 稽查的主要内容是对报装过程的合规性进行检查, 有没有拖延、违规操作等情况, 比如有没有按时完成报装工作以及是否存在擅自为不合格用户办理报装手续等。目前的稽查监测工作一般都是从数据收集入手, 由手工或者是由一个系统来对市场营销业务中的各种资料进行自动化收集, 再对这些资料进行初步的分析, 把出现的不正常的资料进行剔除, 再把这些异

常资料有序组织形成一份稽查报告, 分发给有关的审核员, 由审核员按照工作需要对其进行实地视察或者对数据进行进一步的核查, 最终向有关部门反馈稽查结果并对整改情况进行追踪复查, 以保证问题的彻底解决。<sup>[1]</sup>

#### (二) 传统稽查监控方法的困境

传统的监督检查手段主要依靠人员的经验人工进行, 存在着许多缺陷。例如手工检查工作量大并且工作效率不高, 在面对巨大的市场营销数据时, 稽查人员要在数据的筛选与分析上耗费大量的时间与精力, 并且极易受主观因素的干扰, 不同的稽查人员会有不同的判断准则, 这会影响到稽查结果的精度与一致性。另外, 传统研究方法在数据分析方面存在局限性, 无法满足大数据背景下的需求。由于不能及时、全面地处理大量的数据, 造成信息的滞后和分析的不全面, 很多潜在的市场风险没有被及时地发

作者简介: 赵梦琳 (1990.04-), 女, 汉族, 河北邢台人, 本科, 工程师, 研究方向: 电气工程及其自动化。

现，比如对某些持续时间较长的小功率异常现象，传统的手工方式很难对海量客户的长周期用电数据进行详细的统计分析，忽略了大量的客户用电数据，从而造了巨大的经济损失。

## 二、智能技术在国网营销稽查监控中的应用基础

### （一）大数据技术

国网公司销售数据的规模巨大，覆盖电表读数、用户档案、电费缴纳记录以及用电设备参数等各种数据，并包含大量的结构化数据（如数据库中的电费数据）、半结构化（如 XML 格式）、非结构化（客服电话记录、现场巡检照片等），以及对用户当前用电状况和行为的实时需求。因此为充分发挥大数据的作用，国网需要搭建大数据平台，通过数据的实时传输、营销业务系统的数据库同步、外部的数据接口（比如通过与气象部门的数据接口来获得天气对用电的影响）等，把大量的数据聚集在大数据的存储结构中，通过数据的清理和预处理，剔除无效的数据，纠正错误的数据，确保数据的质量和可用性。

### （二）人工智能技术

在电力公司的市场稽查工作中，机器学习算法被广泛地运用。其中决策树算法能够从历史的检查数据中建立一个决策模型，对新的市场数据进行分类判定，迅速辨识可能出现的一些问题，比如对某个客户的电费变动状况进行判断。而支持向量机方法在处理小样本、非线性问题时具有较强的优势，可以应用于高风险营销事件的预测与分类。

另外，在客服文字分析中可以采用自然语言处理技术，通过对客户服务记录中的文本信息进行提取、分析与理解，从中发掘出用户所反映的用电异常问题、电费核算方面的问题等有益的信息，由此为稽查工作提供重要的指导，使稽查人员能够更好地进行调查。

### （三）物联网技术

智能电表是一种重要的物联网应用终端，它通过与物联网技术的深度融合可以对电能表进行实时采集和远程传输。利用物联网技术，智能仪表能够定期（15分钟、1小时）向电力数据中心上报用电量、电压以及电流等数据，从而提升数据的精度和时效性，防止手工抄表带来的错误与延时，为用户用电状况的实时监测提供基本数据支撑。同时利用物联网技术，可以实现对大型企业、商业综合体等重要用电终端的实时监控，对设备的工作参数（如温度、转速、功率等）进行采集，通过这些数据对设备的故障进行预警，防止由于设备故障而造成的停电事故，这样就能将电力损耗、电费纠纷等营销风险降到最低。

## 三、智能技术助力下的营销稽查监控功能升级

### （一）精准异常检测与预警

智能技术助力下的营销稽查监控借助智能算法对海量营销数据进行实时监测与深度分析，可以对异常进行精确的探测。<sup>[2]</sup>在此基础上，利用多维数据（如历史用电量、同行业用电量平均值、季节性因素、天气变化等），实现对各用户用电行为的精确

刻画与实时追踪。当用户出现电量突然增加、电量波动超过正常范围、功率因数异常时，该系统就能迅速准确地找到异常值，并按照预先设定的规则和算法对其进行初步的判定与分析，从而判定异常的严重程度及可能的成因。同时构建智能化的预警机制，对预警信息进行分级，例如轻微异常、中度异常和严重异常，分别对应不同的预警方式，如短信通知、系统弹窗提示、电话报警等，确保相关人员能够及时收到预警信息，并采取相应的措施进行核实和处理，从而将潜在的营销风险扼杀在萌芽状态。

### （二）智能风险评估与防控

构建全面的营销风险评估模型是智能技术在稽查监控中的重要应用之一，可以基于用户信用记录、用电行为特性、市场环境变化、产业政策调整等多个影响因素的数学模型，采用人工智能的方法实现对不同类型客户的营销风险评估，并将其分为低、中、高三个风险等级。针对不同的风险水平，分别制定相应的风险控制策略，对低风险的客户维持正常的检查和监测，通过在线数据分析、定期电话回访等方法，对其进行日常的维护；针对中风险顾客，可以适当提高巡查和监测的强度，例如减少数据收集时间、加强现场检查的频率等，对潜在危险点进行检查与预防；对高风险客户，要采取更加严密的防控手段，例如要让客户预先支付费用，安装远程监控设备，安排专人进行追踪监测。<sup>[3]</sup>

### （三）高效问题追溯与整改

在发现市场异常时，利用大数据中的相关分析功能能够迅速找到问题的根本原因。通过挖掘业务过程中各环节的数据关联性、不同时间节点上的数据变动关系等内部关联，可以快速地识别出与异常问题有关的业务环节、操作人员、时间节点以及设备与数据等，从而为进一步的研究与解决问题提供明确的线索与指导。由此通过智能终端向稽查人员发送任务，稽查人员可通过移动稽查 APP、智能检测设备等智能化技术手段，对工作进度及存在的问题进行实时记录，并及时反馈至后台。后台系统可以实时监测整改过程，按照预先设定的整改标准和时限，对整改措施的执行状况进行自动追踪，评估并反馈整改效果，保证问题能够得到有效的处理，防止问题的重复发生，从而形成一套发现、溯源、整改、评价的闭环管理过程，极大地提升市场监管的效率与质量。

## 四、智能技术应用面临的挑战与对策

### （一）技术难题

#### 1. 智能技术在电力营销领域的适配性问题

电力市场营销服务的特殊性与复杂性，使得传统的基于人工智能的算法模型在满足实际业务需求的同时，也要不断地进行优化与调整。然而由于各区域电网结构、用电负荷特征、用户用电习惯等方面的差异，使得大数据分析模型与人工智能算法难以适应本地环境的特点，从而降低稽查监测的精度与效率。

#### 2. 数据质量与安全问题

一方面，国网市场数据来源广且数据品质参差不齐，存在缺失、误报、重复等问题，难以有效地进行数据分析与智能技术的



应用。比如有些老式电表的数据收集不够精确,有些用户的个人资料也不能及时地更新,这样就会使智能算法的计算结果产生偏差。另一方面,由于电能数据关系到用户的个人隐私以及企业的商业秘密,因此其数据泄露风险是不可忽视的。<sup>[4]</sup>

## （二）管理与人才困境

### 1. 传统管理模式难以适应智能技术应用的变革需求

在传统的营销检查监测工作中,各个部门的责任分工比较清晰,而随着智能化技术的发展,企业的流程也随之改变,数据的收集、分析和应用都要求各个部门进行更密切的合作与交流。比如要使大数据分析部门能够与市场营销部门、信息技术部门、用电监察部门等部门进行有效的合作,使大数据技术能够更好地运用到稽查监督中去。但目前的组织结构中,各部门间的信息壁垒高、协作能力差,不能很好地适应智能技术的应用需求,导致工作效率降低,制约智能化技术的推广与应用。

### 2. 复合型人才短缺

智能技术的运用要求工作人员具备一定的专业知识,如大数据、人工智能以及物联网等相关知识。当前国网公司缺乏这样的复合型的人才,大多数人员对电力市场的业务都很熟悉,但是对于智能技术的理解不足,或者是很会使用智能技术,但是对于电力市场的经营却并不是很好,这就导致在使用智能技术时会出现技术和业务分离的情况,不能很好地发挥智能技术的优势。

## （三）对策建议

### 1. 加强技术研发与合作

国家电网公司应当建立专门的科研经费,支持公司内部的技术队伍,以满足智能市场稽查监测的具体需要为目标,进行技术攻关。比如研究适合不同地域、不同用户类型电力消费行为的大数据分析方法,实现对电力消费行为的精确识别,为电力市场监管工作提供更有针对性的线索。

另外,公司可以与国内外科研院所、高等院校、科研院所等单位进行长期、稳定的合作,利用大学的研究成果解决智能技术在电力营销中的一些难点问题,比如建立更加有效的电能数据智能分析模型,研究基于人工智能的电力市场风险预警方法。与此同时,通过与国网电力公司的合作,引入物联网设备优化升级、智能图像识别技术在用电稽查领域的应用,并通过本土化定制与二次研发,使之更加符合国网电力行业的实际需求。

### 2. 完善数据质量管理体系

在数据获取方面,国网营销稽查可以采用高精度、高可靠性的智能仪表,并配备先进的数据采集装置以保证数据来源的准确性和完整性。研究内容包括:(1)提高计量精度,(2)提高电

能计量精度,(3)对电能计量进行优化,(4)对电能计量的影响。同时要标准化工作程序,定期对工作人员进行培训与评估,确保由手工收集到的资料(例如一些使用者的档案资料的实地核查输入等)是正确的。

同时国网营销稽查需要建立严密的资料稽核机制,运用自动资料稽核工具与手工稽核的方法,多轮多角度地查核所收集的各种行销资料。例如对电费核算数据与电量数据之间的逻辑匹配关系、用户个人档案信息的必填项目是否完备等。<sup>[5]</sup>

### 3. 推动管理创新,调整组织架构

建立以公司高管为组长,由营销、技术、运维、客服等相关部门负责人为成员的智慧营销稽查监测领导小组,对智能技术在营销、稽查、监测等方面的应用与推广进行统筹规划与配合,制订总体策略,对重要事项进行决策。

同时公司成立智能化市场检查监测中心,并以此为核心,具体落实智能化技术。其中大数据分析小组主要负责清理、挖掘、分析大量的市场数据,为企业的稽查监测和预警提供数据支撑。人工智能算法研发小组基于企业的商业需求与数据分析,研发并优化各种智能算法模型。物联网技术维护小组负责智能电表、传感器等物联网设备的安装、调试、维护及更新,保证设备的稳定工作,保证数据的可靠传递。

### 4. 加强人才培养与引进

建立一套系统化的公司内部人员培训方案,根据不同岗位和级别的人员进行有针对性的知识技能训练。例如对基层的营销稽查人员,进行智能技术的基本概念、对物联网设备的基本操作以及智能稽查工具的运用等方面的培训,让工作人员能对自己的日常工作中运用智能技术的技能进行初步的了解,从而提升他们的工作效率。针对技术骨干和经营管理人员,开展基于深度学习的电力市场风险预警、智能电网数据安全等高端技术培训班和专题研讨班,以提升他们在智能技术方面的专业深度与创新能力,为智能技术的研发、项目管理、业务创新提供支撑。

## 五、结语

总之,将智能化技术运用到电网公司的营销稽查监督中是适应时代发展的需要,也是电网企业改革的必然。本文的研究成果可以推动国网公司推进电力市场营销稽查监管工作向智能化方向发展,在今后的发展过程中,继续创造出新的价值与业绩,帮助国网公司在智能电网的时代里取得新的飞跃与突破,更好地为社会经济的发展和人们的生活质量的提升做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 闫明月. 营销稽查监控工作在电力营销中的应用[J]. 农电管理, 2023,(12):70-71.
- [2] 刘晶东, 夏泽举, 常乐. 开展专项稽查助推营销工作提质增效[J]. 农村电工, 2020,28(11):14.
- [3] 张翔, 张乐, 王艺诺. 浅析营销稽查监控技术在电力营销业务中的应用[J]. 现代营销(信息版), 2019,(04):244.
- [4] 贺生斌, 安静, 周玫, 等. 提升营销稽查监控业务运营管理水平[J]. 中国电力企业管理, 2018,(04):54-55.
- [5] 孔剑虹, 史程, 邱钟谊, 等. 营销稽查监控系统的设计与实现[J]. 大众用电, 2016,(S2):157-162.



# 智能燃料识别与分类技术的研发及其在电厂的应用

张玉俊<sup>1</sup>, 吕锦沛<sup>1</sup>, 赵运亮<sup>1</sup>, 柳雨萌<sup>2</sup>, 贺伟<sup>2</sup>

1. 中煤靖远发电有限公司, 甘肃 白银 730919

2. 内蒙古呼和浩特市立信电气技术有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010011

**摘要：** 燃料不仅是电厂正常运行不可或缺的核心能源，也是决定电厂经济效益和运行效率的关键因素，在传统的燃料管理模式下，由于识别效率低、人为干预过多等问题，燃料管理往往存在误差大、响应慢等弊端，难以满足现代电厂对燃料管理效率、准确性和安全性的迫切需求。然而，随着信息技术的快速发展和广泛应用，智能燃料识别与分类技术应运而生，并逐渐渗透到电厂燃料管理的各个方面，给电厂带来了革命性的变化，该技术通过自动化和智能化，显著提高了燃料管理的效率和准确性，确保了电厂运行的稳定性和安全性。

**关键词：** 智能燃料识别与分类技术；电厂；应用

## Research and Development of Intelligent Fuel Identification and Classification Technology and Its Application in Power Plants

Zhang Yujun<sup>1</sup>, Lv Jinpei<sup>1</sup>, Zhao Yunliang<sup>1</sup>, Liu Yumeng<sup>2</sup>, He Wei<sup>2</sup>

1. China Coal Jingyuan Power Generation Co., Ltd. Baiyin, Gansu 730919

2. Inner Mongolia Hohhot Lixin Electric Technology Co., Ltd. Hohhot, Inner Mongolia 010011

**Abstract：** Fuel is not only an indispensable core energy source for the normal operation of power plants, but also a key factor determining the economic and operational efficiency of power plants. Under the traditional fuel management mode, due to low identification efficiency and excessive human intervention, fuel management often has drawbacks such as large errors and slow response, which are difficult to meet the urgent needs of modern power plants for fuel management efficiency, accuracy, and safety. However, with the rapid development and widespread application of information technology, intelligent fuel identification and classification technology has emerged and gradually penetrated into various aspects of power plant fuel management, bringing revolutionary changes to power plants. This technology significantly improves the efficiency and accuracy of fuel management through automation and intelligence, ensuring the stability and safety of power plant operation.

**Keywords：** intelligent fuel identification and classification technology; power plant; application

## 引言

智能燃料识别与分类技术作为电厂燃料管理领域的一项创新技术，融合了现代信息技术和自动化技术，实现了对燃料的快速准确识别和分类，该技术有效解决了传统燃料管理方法识别效率低、人为干预多的问题，显著提高了电厂燃料管理的智能化水平。本文深入探讨了智能燃料识别与分类技术的研发背景、技术原理及其在电厂燃料管理中的具体应用，分析了其在提高燃料管理效率、降低运行成本、增强运行安全性方面的显著优势，论文也指出了该技术在发展过程中面临的挑战和机遇，为电厂燃料管理的智能化改造提供了有益的参考。

## 一、智能燃料识别与分类技术的研发背景

### （一）能源转型的迫切需要

在全球气候变化和资源枯竭的双重挑战下，能源转型已成为全球共识，尽管在过去的几个世纪里，煤炭、石油和天然气等传统化石燃料支撑了全球工业化和现代化的进程，但其燃烧所带来的温室气体排放、空气污染和酸雨等问题日益严重，对生态环境和人类健康构成了巨大威胁，寻找和推广清洁、可再生、低碳的

能源已经成为世界各国政府和企业的共同目标。智能燃料识别与分类技术就是在这种背景下应运而生的，不仅是能源转化过程中的关键技术，也是促进能源结构优化的重要手段，技术可以快速识别和分类生物质能、太阳能、风能、地热能等新能源，为电厂提供多种燃料选择。通过准确识别燃料的种类和质量，电厂可以更灵活地调整燃料结构，减少对传统化石燃料的依赖，提高清洁能源的利用率，从而促进能源结构的绿色转型。<sup>[1]</sup>此外，智能燃料识别和分类技术还可以实时监测燃料的燃烧效率和排放情况，为

作者简介：张玉俊（1976.06-），男，汉族，甘肃临夏人，本科，助理工程师，研究方向：电力。

电厂提供科学的环境管理依据，通过优化燃烧过程，减少污染物的产生和排放，电厂可以更有效地履行环保责任，促进能源转型和环境保护的协调发展。

### （二）提高电厂运行效率的迫切需要

随着电力市场竞争的加剧和消费者需求的多样化，提高电厂运行效率已成为企业生存和发展的关键，传统的燃料管理方法依靠人工操作和经验判断，不仅效率低，而且容易出错。在燃料采购、储存、使用、排放等各个环节，过多的人工干预导致管理成本高，数据的准确性和及时性难以保证。智能燃料识别和分类技术的出现给电厂燃料管理带来了革命性的变化，该技术融合了现代信息技术和自动化技术，实现了燃料管理的自动化和智能化，可以实时准确地监测燃料的质量、种类和数量，为电厂燃料采购、储存、使用和排放的各个环节提供准确的数据，这不仅提高了燃料管理的效率，降低了运营成本，也增强了电厂的市场竞争力。<sup>[2]</sup>此外，智能燃料识别和分类技术还可以实现智能燃料分配和优化，通过实时监测燃料的燃烧效率和排放情况，电厂可以更科学地调整燃料结构，优化燃烧过程，提高发电效率和能源利用率，该技术还可以实现燃料的智能预警和故障排查，及时发现和处理安全隐患，保障电厂安全稳定运行。<sup>[3]</sup>

### （三）环境保护和可持续发展的迫切需要

传统的燃料管理方式往往忽视了环保的要求，导致电厂运行过程中排放大量污染物，对生态环境和人类健康造成了严重危害，智能燃料识别分类技术可以通过准确识别燃料的种类和品质，实现对不同燃料的差异化处理。对于污染严重的传统化石燃料，电厂可以采取更严格的环保措施，如安装脱硫、脱硝、除尘等环保设备，减少污染物的产生和排放，对于清洁可再生的新能源，电厂可以提高利用率，增加清洁能源的比重，从而促进电厂的环保转型和可持续发展。此外，智能燃料识别和分类技术还可以实时监测燃料的燃烧效率和排放情况，为电厂提供科学的环境管理依据。通过优化燃烧过程，减少污染物的产生和排放，电厂可以更有效地履行环保责任，促进能源转型和环境保护的协调发展，该技术还可以实现燃料的智能预警和故障排查，及时发现和处理潜在的环境问题，确保电厂的环境管理符合法律法规和环境标准的要求。<sup>[4]</sup>

## 二、智能燃料管理系统的功能

### （一）数据接入功能

智能燃料管理系统的数据库访问功能是其核心，在信息采集和处理中起着关键作用，该功能不仅要求系统充分整合来自各种燃料监测点、传感器和外部数据源的海量数据，还要求保证这些数据的准确性、完整性和及时性。在数据整合方面，智能燃料管理系统采用先进的数据采集技术，如物联网 (IoT)、远程通信、边缘计算等，实现对燃料种类、质量、数量、库存状态、燃烧效率、排放数据等多维度信息的实时捕捉，这些数据通过高速网络传输到系统中心，为后续的分析 and 决策提供了坚实的基础。无缝对接是数据库访问功能的另一大亮点，该系统不仅支持多种数据格式和

通信协议的兼容，还能自动识别和适应不同设备的数据输出特性，保证数据的顺利接入。此外，系统还具有强大的数据清洗和预处理能力，可以有效去除冗余、错误或异常数据，提高数据质量，为后续分析提供可靠保障。<sup>[5]</sup>在数据安全方面，智能燃料管理系统采用多重加密和认证机制，确保数据传输和存储过程中的安全和隐私保护，系统还具有数据备份和恢复功能，防止数据丢失或损坏，保证系统稳定运行。

### （二）菜单展示功能

菜单展示功能既要求系统提供直观易用的操作界面，又要保证用户能够轻松获取所需信息，实现高效决策，在界面设计方面，智能燃料管理系统采用现代 UI 设计理念，注重色彩搭配、布局合理、优化信息呈现。系统提供了清晰的菜单结构，用户只需简单的点击或拖动，就可以快速访问所需的功能模块和数据视图，系统还支持自定义界面布局和主题风格，满足不同用户的个性化需求。<sup>[6]</sup>在信息呈现方面，智能燃料管理系统提供了丰富的数据可视化工具，如图表、仪表盘、地图等，将复杂的数据转换成直观且易于理解的图形表示，这些可视化工具不仅可以帮助用户快速捕捉数据趋势和异常，还提供了深入的数据分析功能，如趋势预测、数据挖掘和关联分析等，为用户的决策提供了有力的支持。此外，智能燃料管理系统还提供强大的报表生成和导出功能，用户可以根据自己的需求定制报表模板和内容，生成专业的数据报表和分析结果，这些报告不仅可以帮助用户更好地了解燃料管理情况，还可以为后续的决策和优化提供有力的依据。

### （三）用户管理功能

在用户信息管理方面，智能燃料管理系统提供完善的用户注册、登录和注销功能，支持用户名密码、生物识别等多种认证方式，系统还会记录用户的登录日志和操作轨迹，以便在必要时进行审计和追踪，同时，系统还支持批量导入导出用户信息的功能，方便企业统一管理和维护用户信息。在权限管理方面，智能燃料管理系统采用基于角色的访问控制 (RBAC) 模型，实现了对不同用户角色的细粒度权限分配。<sup>[7]</sup>系统管理员可以根据用户的工作职责和需求，为用户分配不同的功能模块、数据视图和操作权限，这种权限分配模式不仅提高了系统的安全性和可控性，也保证了用户能够高效地完成任务。此外，智能燃料管理系统还提供了强大的权限审核和记录功能，系统可以实时记录用户的操作行为和权限变化，并生成详细的日志报告，这些日志报告不仅可以帮助管理员及时发现和处理潜在的安全问题，还可以为后续的权限调整和优化提供有力的依据。

## 三、智能燃料识别与分类技术在电厂中的应用

### （一）智能识别，驱动燃料管理创新

依托前沿的计算机视觉和深度学习技术，智能燃料识别系统在电厂燃料管理中脱颖而出，引领管理效率和准确性的双飞跃，该系统巧妙地整合了摄像头和传感器，实时捕捉燃料在运输、验收和储存各阶段的关键图像和视频数据，并借助深度学习算法进行深度分析，这种创新的应用程序可以准确地识别燃料的类型

(煤、石油、天然气等)、详细的质量指标(发热量、灰分、含硫量)和库存品质状态(动态存取量、库存煤质情况),并将这些有价值的信息立即反馈给电厂管理系统,由于智能识别技术的赋能,电厂实现了燃料管理的精细化和智能化,便于匹配掺烧合适的燃煤至锅炉,以确保燃料的最大利用率。此外,该系统还具有实时监控燃料库存的能力,为电厂采购计划和库存管理提供了科学依据,显著降低了运营成本,提高了能效和环保性能。

（二）优化配比，提升燃烧效率

智能燃料分类技术给电厂燃料管理带来了革命性的变化,通过对燃料属性的全方位分析和智能匹配,实现燃料利用的终极优化,在B热电厂的实践中,基于大数据和人工智能的智能燃料分类系统,通过对历史数据的深度挖掘和分析,构建燃料质量与燃烧效率之间的精准模型。系统根据燃料的质量、来源和库存动态,自动生成最优燃料配比方案,并实时调整燃烧条件,保证燃料充分燃烧,实现能效最大化,这种精细化管理策略不仅增强了锅炉运行的稳定性和效率,显著提高了电厂的能源利用率和经济效益,还有效降低了排放和环境负担,智能燃料分类技术的引入,标志着电厂燃料管理进入了科学化、智能化的新阶段。

（三）实时监控，杜绝作弊隐患

智能燃料识别和分类技术的应用,不仅提高了燃料管理的效率和准确性,还实现了对燃料运输、入厂品质、储存、消耗的实时监控和预警,这将有助于电厂及时发现和处理安全隐患,确保电厂安全稳定运行。厂外调运系统介绍了基于物联网和人工智能的智能燃料管理系统,该系统通过车载智运盒和平台电子围栏实时监测燃料的运输过程,并对这些车辆进行分析和处理,该系统

能够及时检测到燃料储存和运输过程中的异常情况,如超时停车和路线偏移,并自动触发预警机制,提醒工作人员进行处理。<sup>[9]</sup>通过智能管理系统的应用,电厂实现了对燃料的装在运输过程的全方面监控和预警,该系统能够实时反映燃料从计划下达到运输、验收情况,为工作人员提供准确的数据支持,这不仅提高了燃料的运输安全性和质量保证,还降低了其人为风险和管理成本。

（四）智能燃料管理系统在燃煤电厂的实践

为了提高燃料管理的效率和准确性,D燃煤电厂引入了基于人工智能和大数据的智能燃料管理系统,该系统通过摄像头、传感器等设备实时采集燃料运输、储存和燃烧过程中的数据,并利用深度学习算法对这些数据进行分析 and 处理。<sup>[10]</sup>该系统能够准确识别燃料的种类、质量和状态,并根据这些信息自动调整燃烧参数和燃料配比方案,该系统还可以实时监控燃料的库存和运输状态,为电厂的采购和储存提供决策支持。通过智能燃料管理系统的应用,电厂实现了燃料的精确管理和优化调度,该系统不仅提高了燃料利用率和燃烧效率,还降低了电厂的运行成本和排放含量,该系统能够及时发现和处理安全隐患,确保电厂的安全稳定运行。

四、结语

电厂研发智能燃料识别与分类技术,能够提高电厂运营的效率,减少其运营的成本,实现经济效益最大化,智能燃料识别与分类技术应用在燃料管理的各个环节,使得燃料数据信息采集的准确性与效率有了极大的提升,是实现电厂运营经济效益最大化的主要技术支撑。

参考文献

[1]成刚,祝起龙,王涛涛. 火电厂燃料智能化管理系统构建及自动识别技术的应用 [J]. 煤质技术, 2013, (S1) .  
[2]成刚,陆茂荣,何亮. 火电企业燃料智能化管理系统的研究与应用 [J]. 煤质技术, 2015, (2) .  
[3]王亚琼,毛勇祥,张冬练等. 火电企业燃料智能化管理系统的构建 [J]. 科技创新导报, 2015, (31) .  
[4]刘威. 火电企业燃料智能化管理系统的构建 [J]. 化工管理, 2016, (22) .  
[5]廖靛,邱洪武. 浅谈电厂燃料管理存在的问题及对策 [J]. 江西电力, 2023, 47 (04): 58-60.  
[6]江建亚. 火力发电企业燃料管理信息化应用探析 [J]. 企业改革与管理, 2023, (06): 40-41.  
[7]唐德强. 火力发电厂燃料智能化应用 [J]. 中国设备工程, 2021, (02): 24-26.  
[8]王纪刚,唐士奇,单存鑫. 封闭煤场智能燃料管控系统设计研究 [J]. 自动化应用, 2021, (11): 34-37.  
[9]杨明秀. 浅析火电厂燃料智能化管理系统构建及自动识别技术的应用 [J]. 中国高新技术企业, 2017, (01): 45-46  
[10]杨新民,曾卫东,肖勇. 火电站智能化现状及展望 [J]. 热力发电, 2019, 48(09): 1-8.

# 变电站电气设备安装与调试关键技术探讨

武佳鹏

国网伊犁伊河供电有限责任公司，新疆 伊宁 835000

**摘 要：** 变电站是电力系统中不可或缺的组成部分，它负责将发电站产生的电能进行电压转换，以适应不同距离和不同负载的传输需求。变电站电气设备的安装与调试质量直接影响到整个电力系统的安全性和可靠性。针对于此本文首先对变电站电气设备进行相关概述，随后对变电站电气设备安装与调试关键技术进行具体说明，并针对实际安装与调试中可能存在的问题，提出针对性的优化策略。期望通过这些优化策略的实施，能为变电站电气设备安装与调试提供帮助。

**关 键 词：** 变电站；电气设备安装；电气设备调试；电气设备关键技术

## Key Technology Discussion on Installation and Commissioning of Electrical Equipment in Substation

Wu Jiapeng

State Grid Yili Yehuo Power Supply Co., Ltd. Yining, Xinjiang 835000

**Abstract：** Substations are indispensable components of the power system, responsible for converting the electrical energy generated by power stations to adapt to the transmission requirements of different distances and loads. The installation and commissioning quality of electrical equipment in substations directly affects the safety and reliability of the entire power system. In this regard, this paper first provides a relevant overview of electrical equipment in substations, then specifically explains the key technologies for the installation and commissioning of electrical equipment in substations, and proposes targeted optimization strategies for potential problems that may arise during actual installation and commissioning. It is expected that the implementation of these optimization strategies will provide assistance for the installation and commissioning of electrical equipment in substations.

**Keywords：** substation; installation of electrical equipment; commissioning of electrical equipment; key technologies of electrical equipment

## 引言

随着我国经济的快速发展，电力需求日益增长，变电站作为电力系统的重要组成部分，其建设和运行质量直接关系到电网的安全稳定。电气设备作为变电站的核心，其安装与调试工作是确保变电站正常运行的关键环节。然而，在实际操作过程中，由于技术要求高、施工环境复杂、设备种类繁多等因素，电气设备安装与调试面临着诸多挑战。

## 一、变电站电气设备概述

### （一）变电站电气设备分类

在如今社会对于电力需求不断增加的背景之下，而变电站是电力系统中非常重要的组成部分，其中的设备与调试工作开展十分关键。在电力系统的运行中，它负责将发电站产生的电能通过升压或降压的方式分配到不同的用电区域。而变电站内的电气设备种类繁多，按照功能和作用可以分为几大类。其中变压器是变电站的核心设备，用于改变电压等级，确保电能传输过程中的高效利用。变压器按照结构和用途可以分为油浸式变压器、干式变压器、自耦变压器等。其次是开关设备，包括断路器、隔离开关、负荷开关等，它们的主要作用是在正常运行和故障情况下，

对电路进行控制和保护。断路器能够在电流异常时迅速切断电路，防止事故扩大，而隔离开关则用于在无负载的情况下隔离电路，保证检修人员的安全<sup>[1]</sup>。

### （二）主要电气设备功能与作用

变压器是变电站的核心设备之一，它的主要功能是通过电磁感应原理，实现电压等级的转换。在电力系统的运行过程中，变压器可以将发电站产生的电能升高电压后远距离传输，再在用电区域附近降低电压，以满足不同用户的需求。变压器的稳定运行对于整个电力系统的安全至关重要。而断路器是变电站中用于控制和保护电路的重要设备，它能够在正常运行条件下接通和断开电路，以及在故障情况下迅速切断故障电流，保护其他电气设备不受损害。断路器的快速动作对于防止电力系统故障的扩大和电



网的稳定运行具有重要作用。隔离开关的主要作用是在无负荷的情况下，将电气设备与电源隔离，以便进行检修和维护。它不具备断开故障电流的能力，因此通常与断路器配合使用。隔离开关的正确操作对于保证变电站工作人员的安全至关重要。电流互感器和电压互感器是变电站中用于测量和保护的重要设备。电流互感器将高压侧的大电流转换为低压侧的小电流，便于测量和保护装置的使用；电压互感器则将高电压转换为低电压，同样用于测量和保护。它们确保了测量和保护系统的准确性和可靠性<sup>[2]</sup>。

## 二、变电站电气设备安装关键技术

### （一）安装前的准备工作

就目前的变电站而言，工作人员在安装中所的关键技术较为多样。具体而言设备的运输和储存是安装前的重要环节。这是因为在电气设备的运输过程中，难免会产生碰撞震动以及潮湿，所以就需要在运输中进行特殊处理来避免损坏。而到达现场后，应按照设备的储存要求进行妥善保管，避免因环境因素导致设备性能下降。其次安装前的准备工作也至关重要。这包括对安装现场进行彻底的清理，确保无杂物、无积水，并对安装工具和材料进行检查，确保其符合技术要求。同时安装人员需要熟悉设备的安装图纸和说明书，了解设备的性能参数和安装要点<sup>[3]</sup>。

### （二）主要电气设备安装流程

在近些年来的电力系统设计与运行中，变电站作为电力传输和分配的关键节点，其电气设备的安装质量直接关系到电网的安全稳定运行。针对于当下高用电及高稳定性的要求之下，变电站电气设备安装关键技术的掌握和应用，对于确保变电站可靠性和效率至关重要。而在施工人员变电站电气设备安装过程中，主要安装的电气设备包括变压器、断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器等，它们的安装流程需要严格遵循相关技术规范和标准。例如在施工人员的变压器安装前，就需要对这一设备进行基础进行检查，确保其平整度和强度符合要求。而在施工人员变压器就位后应进行水平度调整，确保其在规定范围内。接着进行变压器的附件安装，包括油枕、冷却器、气体继电器等，并对变压器进行油处理，包括油的过滤和干燥处理。最后，进行变压器的电气试验，包括绝缘电阻测试、直流电阻测试、变比测试等，以确保变压器的性能符合标准<sup>[4]</sup>。

### （三）安装过程中的质量控制

变电站电气设备的安装工作是一项复杂而精细的任务，所以就需要在研究人员的安装过程中，要求高度的专业知识和严格的质量控制。需要安装团队在进行变电站电气设备安装时，必须遵循一系列既定的安装程序和标准，以确保设备的可靠性和安全性。具体而言在变电站电器设备的安装过程中，需要安装团队在开始工作之前对现场进行彻底的检查，确保所有准备工作都符合要求。这一步骤包括检查设备的运输条件、检查现场的环境条件，如温度、湿度等，以及确认所有必要的工具和安全设备都已就绪。除此之外安装人员需要对安装图纸和设备说明书进行仔细研究，确保对设备的安装顺序和要求有充分的理解。到了实际的

在安装过程中，质量控制的关键在于对每一个步骤进行精确的执行和检查。例如在安装变压器时，研究人员会特别注意变压器的放置位置是否正确，以及是否按照制造商的指导进行操作<sup>[5]</sup>。

## 三、变电站电气设备调试关键技术

### （一）调试前的准备工作

当技术人员在变电站电器设备安装完成之后，接下来就需要进入到设备的调试阶段。而在具体的调试工作开始之前，技术人员必须做好充分的准备工作，以确保调试过程顺利进行。具体而言，要求技术人员需要对变电站的电气设备进行全面的检查，主要的检测目标为变压器、断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器等。检查内容则主要包括设备的外观完整性、接线正确性以及标识的清晰度。除此之外还需要确认所有的保护装置和控制回路是否按照设计图纸正确安装，并且所有的电缆连接都符合规范<sup>[6]</sup>。

### （二）电气设备调试流程

在变电站电气设备调试的过程中，确保设备安全、稳定运行是核心目标。所以要求施工人员首先要重点进行设备的外观检查。检查所有电气设备的外观是否完好，无损伤、无锈蚀、无变形，确保设备在运输和储存过程中未受到损害。同时检查设备的铭牌信息是否与设计图纸和设备清单一致，包括型号、规格、额定参数等。接下来需要施工技术人员进行相关线路的绝缘电阻测试。可以使用绝缘电阻测试仪对电气设备的绝缘性能进行测试，确保其绝缘电阻值符合标准要求。绝缘电阻测试是预防电气故障的重要手段，可以有效发现绝缘老化、受潮等问题。然后进行电气设备的耐压试验。耐压试验是检验电气设备绝缘强度的重要手段，通过施加高于设备正常工作电压的试验电压，检查设备绝缘是否能够承受过电压而不发生击穿。耐压试验通常在绝缘电阻测试合格后进行<sup>[7]</sup>。

### （三）调试过程中的问题诊断

当问题相关问题发生时，变电站电气设备调试人员必须迅速而准确地识别问题所在，以便采取相应的解决措施。而在这一诊断的过程中，要求技术人员需要对变电站的电气设备进行全面的检查，而在检查时还应特别注意设备的外观有无异常，如烧焦、裂纹、渗漏油等现象这些都可能是设备故障的直接表现。在排除常见故障之后，要求检测人员应利用各种检测仪器，如示波器、继电保护测试仪、绝缘电阻测试仪等对电气设备的性能参数进行测量。例如通过测量绝缘电阻值，可以判断设备绝缘是否良好。在测量过程中，任何偏离正常范围的参数都应引起重视，它们可能是潜在问题的信号<sup>[8]</sup>。

## 四、变电站电气设备安装与调试关键技术使用的优化策略

### （一）精确规划与布局优化

尽管变电站电气设备的安装与调试工作已经非常成熟，但随

着近些年来技术部门所使用的相关方法技术的不断进步和对效率及安全性的更高要求，所以为了满足需求优化策略的实施显得尤为重要。而精确规划与布局优化是其中的关键一环，它直接关系到变电站的运行效率和维护便捷性。在实际的操作中，精确规划需要从变电站的总体设计开始体现。例如在设计阶段就要求施工人员应充分考虑电气设备的类型、数量以及它们之间的相互作用。可以通过使用先进的计算机辅助设计软件，去创建详细的三维模型，模拟设备布局，确保电气设备之间的空间距离满足安全规范，并且便于操作和维护<sup>[9]</sup>。

## （二）高效的安装流程管理

安装在流程管理的这一层面，变电站电气设备安装与调试关键技术使用的优化策略显得尤为重要。这是因为对于电力企业而言，所采用的高效的安装流程管理不仅能够确保工程按时完成，而且能够提高设备安装的质量和安全性。而在在这一层面的优化中，制定详细的安装计划和时间表是至关重要的。具体而言要求施工人员需要对整个变电站的电气设备进行细致的分类和排序，明确每项设备安装的先后顺序和时间窗口。可以在设计的过程中，通过使用项目管理软件去实时监控安装进度，以此来进一步确保各项任务按时完成。同时还需要在安装设计时，预留一定的缓冲时间以应对不可预见的延误，如天气变化、设备供应延迟等<sup>[10]</sup>。

## （三）采用自动化和智能化的调试工具

在自动化与高度智能化生产背景之下的当今，企业也需要紧跟时代发展脚步，通过在电器设备安装中不断引入新技术和新方法，以此来进一步提升生产效率和质量。而在当今的变电站电气设备安装与调试领域，自动化和智能化的调试工具已成为不可或缺的一部分，它们的应用不仅提高了调试的准确性和效率，还大大降低了人为因素对调试结果的影响。在变电站电气设备安装完成后，调试环节至关重要。传统的调试方法往往需要人工进行各

种参数的测量和调整，耗时费力且容易出错。而采用自动化和智能化的调试工具，可以实现对设备参数的自动采集、分析和调整，大大提高了调试的精度和效率。

## （四）建立全面的质量监控体系

质量检测体现对于电力企业设备的稳定运行同样至关重要。在变电站电气设备安装与调试过程中，任何一个微小的瑕疵都可能导致整个系统的故障，进而影响电力供应的稳定性和安全性。所以对于当前的企业而言，建立全面的质量监控体系是确保设备安装与调试质量的关键措施。而在这一策略的实施过程中，构建一个全面的质量监控体系应包括设备采购、入库检验、安装调试到运行维护的每一个环节。而在这些环节的实施中，例如在设备采购阶段应严格审查供应商的资质和产品质量，确保采购的设备符合相关标准和要求。而入库检验环节则要对设备进行全面检查，包括外观、性能、参数等方面，确保设备在入库前无任何损坏或缺陷。

## 五、结语

综上所述，变电站电气设备的安装与调试是确保电力系统安全稳定运行的关键环节。通过精确的规划与布局优化、高效的安装流程管理、采用自动化和智能化的调试工具以及建立全面的质量监控体系，可以显著提升变电站电气设备的安装与调试效率和质量。未来，随着技术的不断进步，变电站电气设备安装与调试技术将更加智能化、自动化，进一步提高电力系统的可靠性和经济性。同时，随着对环境保护和可持续发展的重视，变电站的设计和建设也将更加注重环保和节能，以实现电力工业的绿色可持续发展。因此电力行业的从业者应不断学习和掌握新技术，以适应未来变电站建设与发展的需要。

## 参考文献

- [1] 张明良, 张治. 变电站电气一次设备安装技术探析 [J]. 电力设备管理, 2024, (18): 71-73.
- [2] 吴嘉玮. 变电站电气安装施工常见的故障及处理技术研究 [J]. 光源与照明, 2024, (08): 231-233.
- [3] 李鹏宇, 王文华. 变电站电气安装工程技术要点研究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(13): 81-83. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2403-5042-7274.
- [4] 杨明荣. 论变电站电气设备安装与检修问题 [J]. 中国设备工程, 2024, (11): 171-173.
- [5] 郑泰杰. G变电站电气设备安装工程进度管理优化研究 [D]. 中北大学, 2024. DOI: 10.27470/d.cnki.ghbgc.2024.000777.
- [6] 章江睿, 叶孟轩. 变电站电气设备安装与检修问题探析 [C]//中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (五). 国网益阳供电公司变电检修公司; 湖南省送变电工程有限公司, 2024: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.050109.
- [7] 田堂金. 变电站一次电气设备安装调试质量管控方法研究 [J]. 流体测量与控制, 2023, 4(06): 33-35+43.
- [8] 李建业. 智能变电站电气设备安装及调试技术研究 [J]. 中国高新科技, 2023, (12): 20-22. DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.12.06.
- [9] 林昌榕. 智能变电站电气设备安装与调试技术要点 [J]. 光源与照明, 2023, (02): 151-153.
- [10] 牛牧之, 王瑞. 变电站电气安装施工中存在的问题及预防措施分析 [J]. 电气技术与经济, 2022, (04): 143-145.

# 数字化技术在核电运行管理中的实践探索

何永华

大亚湾核电运营管理有限公司，广东 深圳 518124

**摘 要：** 本文主要聚焦于数字化技术在核电运行管理中的实践应用，深入地探讨了其在运行监控、设备维护、生产计划、人员管理以及核安全管理等各环节的具体应用情况。同时基于上述内容还分析了数字化技术应用过程中面临的数据安全、技术集成、人员素养等方面的挑战，并对其提出相应解决方案。

**关 键 词：** 数字化技术；核电运行管理；实践应用；安全与效率提升

## Practice and Exploration of Digital Technology in Nuclear Power Operation and Management

He Yonghua

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

**Abstract：** This paper mainly focuses on the practical application of digital technology in nuclear power operation management, and deeply discusses the specific application of operation monitoring, equipment maintenance, production planning, personnel management and nuclear safety management. At the same time, based on the above content, it also analyzes the challenges of data security, technology integration and personnel literacy in the application process of digital technology, and puts forward corresponding solutions for them.

**Keywords：** digital technology; nuclear power operation management; practical application; safety and efficiency improvement

## 引言

在核电行业中，运行管理的高效性与安全性一直是重中之重，而数字化技术的应用为其带来了全新的机遇与变革。企业通过数字化手段，可以对核电运行的各个环节进行精准把控、优化管理以及风险预警，从而在确保核安全的前提下，稳步提升核电运行的整体效率，进而更好地满足社会对清洁能源的需求。本文旨在全面剖析数字化技术在核电运行管理中的实践探索情况，进而为该领域的进一步发展提供参考与借鉴。

## 一、数字化技术在核电运行管理中的应用概述

### （一）数字化技术的主要类型与特点

各类数字化监测与控制系统能够实时采集核电设施的运行数据，且其均具备高精度、高可靠性以及远程操控等特点，也就保障了对核电运行状态的实时、精准监控。目前的数字化技术涵盖了众多类型，其在核电运行管理中发挥关键作用的主要包括大数据技术、人工智能技术、虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）技术以及各类数字化监测与控制系统等。

1. 大数据技术具有数据量大、类型多样、处理速度快以及价值密度低等特点。因此它能够收集和整合来自核电运行各个环节的海量数据，如设备运行参数、环境监测数据等。

2. 人工智能技术则具备学习、推理和决策能力。在核电运行管理中，它可以基于历史数据和实时数据进行模型训练，从而实现设备故障的预测、运行状态的智能评估等功能。

3. 虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）技术能够为核电工作人员创造沉浸式的虚拟环境或增强现实场景。例如在培训环节，企业利用 VR 技术可以为员工模拟真实的核电操作场景，进而让员工身临其境地进行操作练习。

### （二）核电运行管理的主要环节与数字化需求

核电运行管理主要涉及运行监控、设备维护管理、生产计划与调度、人员管理与培训以及核安全管理等多个环节。

1. 在运行监控环节，相关人员需要实时、准确地掌握核电站各设备的运行参数，如温度、压力、流量等，以及环境相关指标，以便能够及时地发现异常情况并采取措施。该环节中数字化技术可以通过构建全面的监控系统，帮助工作人员实现数据的自动采集、传输和分析，进而满足对实时性和准确性的要求。

2. 在设备维护管理方面，企业需要对核电站众多复杂设备进行全生命周期管理，即从设备的采购、安装、运行到退役等各个阶段，都需要具备详细的记录和精准把控。此时数字化技术能够



建立设备的数字化档案，从而自主跟踪设备的健康状况，以此实现基于状态的维护，并提高设备的可靠性和使用寿命。

3. 生产计划与调度环节当中，企业要综合考虑发电需求、设备状态、人员安排等多方面因素，进而制定出合理的生产计划并进行高效调度。此环节数字化技术可通过建立精确的生产计划模型，且结合实时数据进行智能调度，达到优化资源配置，与确保核电生产稳定和高效的目的。

4. 人员管理与培训环节则需要对核电工作人员的资质、技能、培训经历等信息进行有效管理。同时企业要为其提供高质量的培训方式，进而使工作人员能快速掌握专业知识和操作技能。而数字化人员信息管理系统以及 VR/AR 等先进培训技术的应用，正好契合了这一需求。

## 二、数字化技术在核电运行各环节的实践应用

### （一）运行监控与数据分析

#### 1. 数字化监控系统的构建与功能

数字化监控系统通常由大量的传感器、数据采集设备、传输网络以及监控软件平台等组成。其中传感器遍布核电站的各个关键部位，如反应堆压力容器、蒸汽发生器、各类泵阀等，实时采集温度、压力、振动等多维度的运行参数数据。而这些数据通过高速、稳定的传输网络即可汇聚到监控软件平台，由于该平台具备直观的可视化界面，所以能够以图表、曲线等多种形式向企业工作人员展示各设备的实时运行状态<sup>[1]</sup>。

#### 2. 大数据分析在运行优化中的应用

大数据分析技术在核电运行优化方面发挥着重要作用。其通过收集不同时间段、不同工况下的海量运行数据，并利用数据分析算法，就可以挖掘出设备运行的最佳参数区间、不同设备之间的关联关系以及潜在的故障风险点等。

比如对发电机组的输出功率、蒸汽流量、冷却剂温度等多组数据进行关联分析，即可发现当蒸汽流量在某一特定区间且冷却剂温度保持在一定数值时，该发电机组的发电效率最高。基于这样的分析结果，运行人员可以对相关参数进行精细调整，进而实现发电效率的提升。并且其通过对历史故障数据的分析，还能够总结出故障发生前各参数的变化规律，基于此建立故障预警模型，确保在实践中能够提前发现潜在故障隐患，进而避免故障的发生或降低故障造成的影响。

### （二）设备维护管理

#### 1. 设备全生命周期数字化管理

设备全生命周期数字化管理涵盖了设备从采购、安装调试、运行维护到退役的全过程。在采购阶段，相关人员利用数字化平台可以对供应商的资质、产品质量、价格等信息进行综合评估，即可选择出最优的设备供应商。而在安装调试过程中，相关人员需记录详细的安装参数、调试结果等数据，将其形成设备的初始档案。

在运行阶段，相关人员通过持续采集设备的运行数据，如设备的运行时长、维修记录、关键部件的磨损情况等，能够实时地

更新设备的健康状态。如对于核电站的主泵，可监测其振动幅值、轴承温度等参数的变化情况，并结合大数据分析判断主泵的磨损程度以及剩余使用寿命，然后相关人员根据分析结果即可制定合理的维护计划，进而确保设备始终处于良好的运行状态。同时当设备达到退役条件时，数字化系统又能辅助进行退役流程的规划和相关数据的整理存档<sup>[2]</sup>。

#### 2. 基于人工智能的设备故障预测与诊断

人工智能技术中的机器学习算法，如深度学习、支持向量机等，均可应用于设备故障预测与诊断。但前提是相关人员需收集大量的设备正常运行和故障状态下的数据作为训练样本，对模型进行针对性训练，使其学习到不同状态下数据的特征模式。

### （三）生产计划与调度

#### 1. 数字化生产计划模型的建立

数字化生产计划模型能够综合考虑到多个因素，并以此作为基础制定核电生产计划。一方面相关人员要结合电网的用电需求预测，并根据不同时段、不同季节的用电低谷情况，合理地安排核电站的发电功率。另一方面相关人员还要考虑核电站自身设备的维护计划、燃料补给计划等内部因素。此时其可通过将设备的检修时间、换料周期等信息纳入模型，来确保生产计划与设备状态相匹配，并避免因设备维护或燃料不足等问题影响发电。

#### 2. 智能调度系统的应用

智能调度系统基于实时的设备运行数据、电网需求数据以及人员配置等信息，以动态的形式来调整核电站的生产调度。当某一发电机组出现临时故障需要停机维修时，智能调度系统就会迅速分析其他发电机组的运行余量，并合理分配发电负荷，从而确保整个核电站的发电总量能够满足电网需求<sup>[3]</sup>。

### （四）人员管理与培训

#### 1. 数字化人员信息管理系统

数字化人员信息管理系统可以全面记录核电工作人员的个人基本信息，当中包括学历、专业资质、工作经验等，同时其还能跟踪其培训记录、考核成绩、岗位变动情况等职业发展相关信息。而通过该系统，管理人员就可以快速查询和了解每一位员工的情况，以此为人员的调配、晋升等决策提供准确的数据支持<sup>[4]</sup>。

#### 2. 虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）培训技术

虚拟现实（VR）技术在核电人员培训当中，能够为其创建高度逼真的虚拟核电站环境，如此就能让学员仿佛置身于真实的核电站操作现场。而增强现实（AR）技术则更多地应用于实际设备的维修和操作指导方面。

### （五）核安全管理

#### 1. 数字化核安全监测与评估系统

数字化核安全监测与评估系统需要相关人员部署大量的辐射监测传感器、环境监测设备等，如此才能实时地获取核电站内及周边区域的核辐射水平、放射性物质浓度、气象条件等关键数据。接着这些数据会传输至后台的评估系统，而系统会依据相关的核安全标准和模型，对核电站的核安全状态进行实时评估<sup>[5]</sup>。

#### 2. 数字化应急管理平台

由于数字化应急管理平台整合了应急预案、应急资源信息、



应急指挥流程等多方面内容。所以在发生核安全事故等紧急情况时，该平台能够迅速启动应急预案，并协调各方应急资源，最终实现快速响应和高效救援。

### 三、数字化技术应用面临的挑战与解决方案

#### （一）数据安全与隐私保护

##### 1. 核电数据安全面临的风险

核电运行涉及大量的敏感数据，当中包括了核设施的设计参数、运行数据、核燃料信息等。而这些数据一旦泄露，极有可能被不法分子利用，如此将会对核安全以及国家安全造成严重威胁。

##### 2. 数据安全保障措施

核电企业为保障核电数据安全，首先就要建立包括防火墙、入侵检测系统、加密技术等网络安全防护体系。同时其还要加强对内部人员的安全意识培训，在工作中制定严格的数据访问权限管理制度，以限制不同岗位人员对数据的访问范围。

#### （二）技术集成与系统兼容性

##### 1. 数字化技术集成难题

核电运行管理的过程中，往往需要集成多种不同类型的数字化技术，如将大数据分析系统与人工智能诊断系统、数字化监控系统与生产计划模型等进行集成。然而由于不同技术的接口标准不一致、数据格式不统一等问题，就使得技术集成面临诸多困难<sup>[6]</sup>。

##### 2. 技术集成与兼容性优化策略

为解决技术集成与兼容性问题，核电行业需要制定统一的行业标准 and 接口规范，进而促使各数字化技术供应商按照标准进行产品研发和生产。同时相关企业还需要建立中间件平台或数据转换接口，进而实现不同系统之间的数据格式转换和交互，最终使各技术模块能够无缝对接、协同工作<sup>[7]</sup>。

#### （三）人员数字化素养与技能提升

##### 1. 人员数字化能力现状与差距

目前随着数字化技术在核电运行管理中的广泛应用，该行业对工作人员的数字化素养和技能要求越来越高。但是部分核电从

业人员在数字化技术方面的知识储备和操作能力相对不足，因此其在工作过程中就难以充分发挥数字化技术的优势<sup>[8]</sup>。

##### 2. 人员培训与能力发展计划

核电企业为提升人员的数字化素养和技能，则需要制定系统的培训与能力发展计划。一方面其需为员工开展针对性的数字化技术培训课程；另一方面企业还应鼓励员工进行自主学习，并积极地参与相关的学术交流活动。

### 四、数字化技术在核电运行管理中的发展趋势与展望

#### （一）新技术融合与创新应用

未来数字化技术在核电运行管理中将进一步与新兴技术深度融合，如区块链技术、量子计算技术等。

#### （二）智能化与自主化运行发展方向

人工智能等技术的不断进步，表明了核电运行管理将朝着智能化和自主化方向发展。例如核电站的设备将具备更强的自诊断、自修复能力，其可以通过内置的智能传感器和控制系统，来实时感知自身状态<sup>[9]</sup>。

#### （三）数字化技术推动核电行业国际合作与交流

数字化技术的发展为核电行业的国际合作与交流提供了新的契机。行业相关人员通过数字化平台，各国的核电企业、科研机构能更加便捷地与他人分享经验、交流技术成果，并不受地区限制地开展联合研发项目，合力解决全球性的核电运行管理难题<sup>[10]</sup>。

### 五、结语

现阶段相关人员对于数字化技术在核电运行管理中的实践探索，已经取得了显著成效，明确提出其在提升运行效率、保障核安全等方面发挥着重要作用。尽管目前在应用过程中面临着数据安全、技术集成、人员素养等方面的挑战，但该行业通过相应的解决方案以及未来不断的技术创新与发展，数字化技术必将在核电运行管理领域展现出更大的潜力。最终将引领核电行业朝着更加智能化、安全化、高效化的方向迈进。

### 参考文献

- [1] 鲍振利, 王飞, 黄雄, 等. 数字化技术在核电厂教室模拟机中的应用科普分析 [J]. 科技视界, 2022, (33): 80-84.
- [2] 徐建军, 王浩, 杨柳. 核电企业数字化转型关键技术与实施策略研究 [J]. 仪器仪表用户, 2022, 29(07): 61-63+23.
- [3] 青先国, 赵阳, 李伟, 等. 核电厂数字化主控制室操纵评价系统技术研究 [J]. 核动力工程, 2020, 41(S2): 41-44.
- [4] 张学刚. 核电厂数字化人机界面运行技术研究 [J]. 核科学与工程, 2010, 30(S1): 58-61.
- [5] 杨云斐, 刘强, 袁忠东, 等. 核电企业数字化防异物管理技术应用 [J]. 电气时代, 2023, (S2): 10-15.
- [6] 梁慧慧, 刘伟, 叶王平. 核电厂数字化仪控系统验证技术研究及应用 [J]. 核科学与工程, 2023, 43(06): 1409-1413.
- [7] 代鑫钰. 核电厂数字化主控制室操纵适用性评价技术研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
- [8] 周建秋, 张洁, 赵栋, 等. 核电设备数字化设计平台关键技术研究与应用 [J]. 制造业自动化, 2022, 44(02): 10-15+30.
- [9] 申屠军, 李小燕. 核电数字化设计体系的组成和数据管理 [J]. 仪器仪表用户, 2017, 24(11): 68-72.
- [10] 卜江涛. 核电厂数字化控制棒控制系统设计技术研究 [J]. 发电设备, 2020, 34(03): 191-195.

