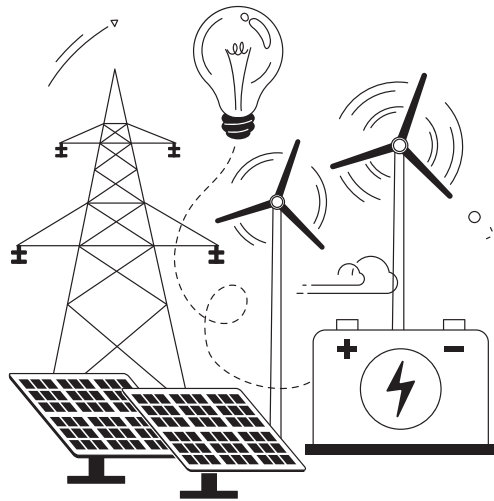


电力技术 与安全管理

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5期 2024年8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。



电力系统 | POWER SYSTEM

- | | | |
|-----|--|--|
| 005 | 基于智能算法的660MW火电厂机组运行参数优化
Optimization of Operation Parameters of 660MW Thermal Power
Plant Units Based on Intelligent Algorithm | 乔庭
Qiao Ting |
| 008 | 面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统设计与实
Design and Practice of Intelligent Electrical Equipment Remote
Monitoring and Maintenance System for Industrial Internet | 吴利辉
Wu Lihui |
| 011 | 直流换流站在电力系统中的作用和发展趋势
The Role and Development Trend of Dc Converter
Station in Power System | 黄宇杰 ¹ , 席冰清 ²
Huang Yujie ¹ , Xi Bingqing ² |
| 014 | 电力系统暂态稳定性分析与改进方法
Transient Stability Analysis and Improvement
Methods for Power Systems | 邱源源
Qiu Yuanyuan |
| 017 | 基于人工智能的电力系统故障诊断与预测
Artificial Intelligence-Based Fault Diagnosis and
Prediction in Power Systems | 张小龙
Zhang Xiaolong |
| 020 | 国网单位供电所智能化管理的实践与思考
Practice and Thinking on the Intelligent Management of Power Supply
Stations in State Grid Units | 成先平, 陈春梅, 章燕
Cheng Xianping, Chen Chunmei, Zhang Yan |
| 023 | 电力现货市场下火电运营管理破局与创新实践
Breakthrough and Innovative Practice of Thermal Power Operation Management
in the Spot Electricity Market | 张宗兴, 逢强
Zhang Zongxing, Pang Qiang |
| 026 | 发电厂电气设备运行管理措施分析
Analysis of Operation Management Measures of Power Plant | 姜晓红
Jiang Xiaohong |
| 029 | 国网单位用电检查现状与问题分析
Analysis of the Current Situation and Problems of Power
Inspection of State Grid Units | 刘红, 肖阳波, 张功华
Liu Hong, Xiao Yangbo, Zhang Gonghua |
| 032 | 建筑电气与智能化建筑融合发展研究
Research on the Integrated Development of Building
Electrical and Intelligent Buildings | 曹斌
Cao Bin |
| 035 | 基于电力市场规则的现货交易
模型优化研究
Research on Optimization of Spot Trading Model Based
on Electricity Market Rules | 方占跃, 李利民, 刘颖斌, 常明明
Fang Zhanyue, Li Limin, Liu Yingbin, Chang Mingming |
| 038 | 电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用研究
Research on the Design and Application of the Whole Life Cycle Management
System of Power Grid Enterprise Equipment | 刘志远, 林玮, 刘颖
Liu Zhiyuan, Lin Wei, Liu Ying |

技术研究 | TECHNOLOGY RESEARCH

- | | | |
|-----|--|---------------------|
| 041 | 火电机组灵活调峰运行策略与优化研究
Research on Flexible Peak-Regulating Operation Strategy
and Optimization of Thermal Power Unit | 孙剑平
Sun Jianping |
|-----|--|---------------------|

044	智能电厂建设中的信息技术集成探索 Exploration of Information Technology Integration in the Construction of Intelligent Power Plant	杨宝明 Yang Baoming
047	基于无人机遥感技术的电力巡检方案探讨 Exploration of Power Inspection Scheme Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology	刘建蓝 Liu Jianlan
050	平面平晶检测安全阀密封面平面度工艺的简介及应用 Brief Introduction and Application of Plane Flat Crystal Detection Technology for Flatness of Safety Valve Sealing Surface	郑伟静, 梁超, 李伟明 Zheng Weijing, Liang Chao, Li Weiming
053	电子电工技术在电气自动化中的应用 Application of Electronic and Electrical Technology in Electrical Automation	邓祥波 Deng Xiangbo
056	500kV 线路保护二次回路数字化故障诊断模型与应用软件开发 Development of Digital Fault Diagnosis Model and Application Software for 500kV Line Protection Secondary Circuit	王新越, 张鹏望, 孔令斌 Wang Xinyue, Zhang Pengwang, Kong Lingbin
059	智能电网技术在电力配网中的应用分析 Analysis of Smart Grid Technology in Power Distribution Network	吴正荣 Wu Zhengrong
062	百万机组火电集控运行的节能优化策略 Energy Saving Optimization Strategy for Centralized Control Operation of Millions of Thermal Power Units	郭日土 Guo Ritu
065	火力发电锅炉低氮燃烧技术的性能评估 Performance Evaluation of Low-Nitrogen Combustion Technology for Thermal Power Generation Boilers	王尚国 Wang Shangguo
068	继电保护装置故障检测方法研究 Research on Fault Detection Methods of Relay Protection Devices	高欣 Gao Xin
071	新能源生产管理中的技术创新与发展策略研究 Research on Technological Innovation and Development Strategies in New Energy Production Management	马万军 Ma Wanjun
074	铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件设计 Design of Intelligent Analysis Software for Intelligent Power Screen Monitoring Data of Railway Signal	秦岳圣 ¹ , 刘钊 ² Qin Yuesheng ¹ , Liu Zhao ²
078	电气工程中电力电子技术的应用探讨 Discussion on the Application of Power Electronics Technology in Electrical Engineering	杨磊 Yang Lei
081	智能化技术在核电起重吊装设备中的应用与提升 Application and Improvement of Intelligent Technology in Nuclear Power Lifting and Hoisting Equipment	李留维 Li Liuwei
084	基于 MATLAB 的 STM32 开发之流水灯 Water Lamp Developed for STM 32 based on MATLAB	王秀婷, 李自成, 李彬, 贾梅林, 黄钢 Wang Xiuting, Li Zicheng, Li Bin, Jia Meilin, Huang Gang
087	热电厂热控专业执行机构常见故障及维修策略 Common Faults and Maintenance Strategies of Professional Actuators of Thermal Power Plant	李建伟, 樊权乐, 李振鑫 Li Jianwei, Fan Quanle, Li Zhenxin
090	输电线路分支塔风荷载计算方法研究 Research on Wind Load Calculation Method of Transmission Line Branch Tower	李广生, 刘治中, 王远 Li Guangsheng, Liu Zhizhong, Wang Yuan
093	基于深度学习的电气设备故障诊断与预测方法研究 Research on the Fault Diagnosis and Prediction Method of Electrical Equipment Based on Deep Learning	赵军年, 胡雨 Zhao Junnian, Hu Yu

安全管理 | SAFETY MANAGEMENT

096	电力系统及其自动化技术的安全控制研究 Research on the Safety Control of Electric Power System and its Automation Technology	李志刚 Li Zhigang
099	核电站维修脚手架作业的安全管理措施研究 Study on the Safety Management Measures for the Scaffolding Operation in the Maintenance of Nuclear Power Plant	袁孟豪 Yuan Menghao
102	智能电网背景下国家电网电力安全管理体系的构建研究 Research on the Construction of Power Security Management System of State Grid under the Background of Smart Grid	张龙飞 Zhang Longfei
105	高压配电网规划中的可靠性与安全性分析 Reliability and Safety Analysis in High-Voltage Distribution Network Planning	郝亮 Hao Liang
108	核安全管理制度在核设施运营中的应用与优化策略 Application and Optimization Strategy of the Nuclear Safety Management System in the Operation of Nuclear Facilities	袁占锋 Yuan Zhanfeng
111	发电厂低压电气供配电及设备安全低压电气研究 Power Plant Low Voltage Electrical Power Supply and Distribution and Equipment Safety Low-Voltage Electrical Research	黄俊龙 Huang Junlong

基于智能算法的660MW火电厂机组运行参数优化

乔庭

国家能源集团店塔电厂，陕西 榆林 719300

摘要： 本文提出了基于智能算法的660MW火电机组运行参数优化方法，构建了涉及主蒸汽温压、给水流量和燃料流量等关键参数的优化模型。采用遗传算法和粒子群算法进行优化，并对其进行了改进。实验结果表明，优化后的参数显著提高了机组效率和经济性，减少了燃料消耗和排放，提供了一种有效的火电机组性能优化手段。

关键词： 660MW火电机组；运行参数优化；智能算法；遗传算法；粒子群算法

Optimization of Operation Parameters of 660MW Thermal Power Plant Units Based on Intelligent Algorithm

Qiao Ting

Dianta Power Plant, National Energy Group, Shenmu, Yulin, Shaanxi 719300

Abstract： This paper presents an optimization method based on intelligent algorithms for the operation of a 660MW thermal power plant unit. An optimization model involving key parameters such as main steam temperature and pressure, feedwater flow, and fuel flow is established. Genetic algorithm and particle swarm optimization are employed and improved for solving the optimization problem. The results show that the optimized parameters significantly enhance the unit's efficiency and economics, reducing fuel consumption and emissions, thus providing an effective approach for thermal power plant performance optimization.

Keywords： 660MW thermal power plant unit; operation parameter optimization; intelligent algorithm; genetic algorithm; particle swarm optimization

第一章 绪论

660MW火电机组作为大型电力生产的关键设备，其运行效率和稳定性直接影响电厂的经济效益和环境影响。随着能源需求的不断增加和环保要求的日益严格，对于火电机组运行参数优化的需求愈发迫切。传统的优化方法由于局限于复杂的物理模型和计算量，难以满足现代电厂高效、智能化的管理需求。

通过智能算法对火电机组运行参数进行优化，不仅可以提升机组的运行效率，减少燃料消耗，降低排放，还能延长设备的使用寿命，降低运行成本。同时，这也为实现智能电厂的建设打下坚实基础，具备重要的现实意义和广阔的应用前景。^[1]

第二章 660MW火电厂机组运行特性分析

（一）火电厂机组构成及工作原理

660MW火电厂机组主要由锅炉、汽轮机、发电机及辅机系统组成。其工作原理是通过燃烧煤炭产生高温高压蒸汽，推动汽轮机转动，进而驱动发电机发电。

（二）机组运行参数及其重要性

火电机组运行过程中，多个关键参数直接影响其效率和稳定性。主要运行参数包括：

- 主蒸汽温度和压力：这些参数决定了蒸汽的能量等级，影响汽轮机的做功效率。
- 给水流量：影响锅炉内水汽循环的平衡，直接关系到蒸汽

的质量和锅炉的安全运行。

- 燃料流量及燃烧效率：决定了锅炉的热效率和燃料消耗量。
- 冷却水流量和温度：影响汽轮机的冷却效果和凝汽器的真空度。

这些参数不仅对机组的经济性和效率有重要影响，还涉及设备的安全运行和寿命。

（三）现有优化方法及其局限性

传统的运行参数优化方法主要包括基于经验的手工调整和简单的线性优化模型：

- 手工调整：依赖操作人员的经验，通过手动调整参数实现优化。这种方法耗时费力且难以保证精度。
- 线性优化模型：基于简化的数学模型进行优化，但通常无法准确描述复杂的非线性运行特性，优化效果有限。

这些方法的局限性在于难以实时、精确地调整运行参数和处理复杂非线性问题，无法充分发挥机组的性能潜力。^[2]

第三章 智能算法理论基础

（一）智能算法概述

智能算法是一类通过模拟自然界中的生物进化或者物理过程来求解优化问题的算法。它们在解决复杂的非线性优化问题时表现出色，能够在高维度和多峰函数搜索中找到最优解。

（二）常见智能算法介绍

1. 遗传算法

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是模拟生物自然选择和

遗传机制的优化算法。它主要通过选择、交叉和变异操作实现种群的进化。该算法具有良好的全局搜索能力，可以有效避免陷入局部最优解。遗传算法在解决复杂优化问题上应用广泛，包括函数优化、路径规划、资源分配等领域。^[3]

2. 粒子群算法

粒子群算法（Particle Swarm Optimization, PSO）是模拟鸟群或鱼群的群体行为的优化算法。它通过种群中个体的相互合作和信息共享来寻找最优解，具有收敛速度快和实现简便的特点。

粒子群算法广泛应用于函数优化、多目标优化和约束优化等领域。

3. 人工神经网络

人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）是一种模拟人脑神经元工作机理的机器学习算法，擅长处理复杂的非线性问题。神经网络通过训练过程调整网络权重，使得输入到输出间的映射关系更加精确。其基本组成包括输入层、隐含层和输出层。

神经网络常用于模式识别、分类、回归等领域，近年来在深度学习的基础上得到了飞速发展，尤其在图像识别和自然语言处理方面表现突出。^[4]

4. 模拟退火算法

模拟退火算法（Simulated Annealing, SA）是模拟金属退火过程的一种优化算法。退火过程中的缓慢降温策略能够有效避免局部最优解，从而找到全局最优解。模拟退火算法在求解组合优化问题和全局优化问题上具有显著优势。

第四章 基于智能算法的运行参数优化模型构建

（一）优化目标与约束条件

在本章中，我们的主要目标是通过智能算法对机组运行参数进行优化，以提高机组运行效率，降低燃料消耗和排放。为了实现这一目标，我们必须考虑以下约束条件：

- 主蒸汽温压：主蒸汽的温度和压力必须保持在特定的范围内，以确保机组的安全和稳定运行。
- 给水流量：给水流量需要在一定范围内波动，以应对运行过程中负荷的变化。
- 燃料流量：为了保证燃料的充分燃烧和经济性，燃料流量也必须受到严格控制。

（二）优化模型的数学描述

构建优化模型首先需要建立描述机组性能的数学模型。该模型主要由多个输入输出变量构成，且这些变量之间存在非线性关系。具体步骤如下：

- 输入变量：包括主蒸汽温压、给水流量和燃料流量等。
- 输出变量：机组效率、燃料消耗和排放量等。
- 非线性关系：通过实验数据和理论分析，确定输入和输出变量之间的非线性关系。

（三）智能算法的选择与改进

在优化模型中，我们选择了遗传算法和粒子群算法两种智能优化算法，并对其进行了一系列改进，以适应我们的特定需求。

1. 遗传算法优化策略

遗传算法是一种通过模拟自然选择和遗传机制来寻找最优解

的算法。其优化策略包括以下几个方面：

- 编码方式的选择：采用二进制或实数编码，以有效表示机组的运行参数。

- 选择、交叉、变异操作的设计：选择操作决定了个体的生存概率，交叉操作通过交换基因产生新的个体，变异操作则通过随机改变基因提高种群的多样性。

- 适应度函数的构建：根据优化目标建立适应度函数，将机组效率、燃料消耗和排放量等指标综合起来，评估个体的优劣。

2. 粒子群算法优化策略

粒子群算法通过模拟生物群体的行为来寻找最优解。其优化策略包括以下几个方面：

- 粒子位置和速度更新机制：每个粒子根据自身经验和群体经验调整位置和速度，以寻找最优解。

- 个体和全局最优解的更新：每个粒子在搜索过程中不断更新自身的最优解，同时整个群体也在更新全局最优解。

- 算法参数的调整：调整粒子的数量、学习因子和惯性权重等参数，以提高算法的收敛速度和稳定性。

（四）模型验证与评估

为了验证优化模型的有效性，我们利用实际运行数据对其进行验证，并评估优化效果。具体步骤如下：

- 数据采集：收集机组的实际运行数据，包括主蒸汽温压、给水流量、燃料流量等输入变量，以及效率、燃料消耗和排放量等输出变量。

- 验证过程：将实际运行数据代入优化模型，检查模型的预测结果是否与实际情况相符。

- 评估指标：通过对比优化前后的运行参数、效率和经济性指标，评估优化效果。^[5]

第五章 运行参数优化算法实现与实验分析

（一）实验平台及实验环境

本章节的实验基于660MW火电厂机组的仿真模型进行。实验平台主要是 Windows 10 操作系统上的 MATLAB 2021b 软件。通过该仿真平台，可以模拟火电厂机组在不同参数设置下的运行情况，并进行数据分析和算法优化。

（二）算法实现过程详解

为了优化660MW火电厂机组的运行参数，采用遗传算法和粒子群算法。以下是两种算法的具体实现步骤：

遗传算法的实现步骤：

1. 编码方式选择：选择实数编码作为参数表示的方式。
2. 初始化种群：随机生成一定数量（如100个）的初始种群，每个个体代表一组运行参数。
3. 计算适应度函数：根据火电厂机组的综合运行性能指标，如效率、燃料消耗和排放指标，计算每个个体的适应度值。
4. 选择、交叉、变异操作：使用轮盘赌法选择个体进行交叉操作，并引入变异操作以增加种群的多样性。
5. 更新种群：根据适应度值更新种群，保留适应度高的个体。
6. 输出最优解：当达到预设的终止条件（如迭代次数或适应

度值无明显提升)，输出最优的运行参数组合。

粒子群算法的实现步骤：

1. 初始化粒子群：随机生成若干个粒子，每个粒子代表一组运行参数，初始化其速度和位置。
2. 更新粒子的位置和速度：根据当前粒子的速度、位置及个体最优位置和全局最优位置，更新每个粒子的速度和位置。
3. 计算适应度函数：根据火电厂机组的运行性能指标，计算每个粒子的适应度值。
4. 更新个体最优和全局最优：每个粒子更新其个体最优位置，整个粒子群更新全局最优位置。
5. 输出最优解：当达到终止条件时（如最大迭代次数或适应度收敛），输出全局最优的运行参数。

（三）实验数据与结果分析

实验数据来自于660MW火电厂机组的实际运行记录。通过仿真平台，将这些数据代入优化模型，分别使用遗传算法和粒子群算法进行优化。具体的优化目标包括提高机组效率、降低燃料消耗和减少排放。

实验结果表明，经过优化后，机组的运行效率有了明显提升，燃料消耗和排放指标有所改善。两种算法在优化效果上存在一定差异，需要具体分析其优缺点。

（四）结果讨论与改进建议

在本次实验中，遗传算法和粒子群算法均表现出了较好的优化效果，但也存在一些问题和不足。具体分析如下：

- 遗传算法：虽然具有较强的全局搜索能力，但在局部搜索时，容易出现收敛速度慢的问题。
- 粒子群算法：虽然收敛速度较快，但在全局搜索能力上不如遗传算法，容易陷入局部最优解。

为了进一步提升算法性能，可以考虑以下改进建议：

1. 算法参数调整：通过调整遗传算法的变异概率和粒子群算法的惯性权重，进一步提高收敛性能。
2. 多目标优化：将机组效率、燃料消耗和排放指标作为多目标优化问题，通过 Pareto 优化方法找到最优解。
3. 混合算法：结合遗传算法和粒子群算法的优点，设计混合优化算法，提高局部和全局搜索能力。

第六章 基于优化结果的系统应用与效果

（一）优化结果在实际系统中的应用

在电力系统中，优化结果帮助实现了负载的平衡分配，电力资源得到了更有效的利用。具体来说，将优化算法应用于生产管理中，实现了如下改进：

- 资源的最优配置：通过对设备利用率、工人工作时间、原材料供应等要素的优化组合，显著提升了整体生产效率。
- 减少废品率：优化生产流程，减少不同工序间的等待时间和不必要的重复操作，从而减少了废品的产生。
- 提高订单交付速度：在库存管理与生产调度方面通过优化，使得订单的处理和交付时间得到了显著缩短。

（二）应用效果评估

在进行优化结果的应用效果评估时，我们采用了多种评估方

法，包括指标分析、对比实验、用户反馈等。以下是一些具体的评估结果：

- 指标分析：通过对比优化前后的关键指标，我们发现生产效率提升了20%，物流成本降低了15%，电力损耗减少了10%。这些指标表明优化算法在实际应用中确实带来了显著的效果。
- 对比实验：在同一系统中分别应用传统方法和优化算法，通过对比实验结果发现，优化算法在提高资源利用率和降低成本方面表现更优。
- 用户反馈：用户反馈显示，优化后的系统不仅提高了系统的稳定性和效率，还使得用户操作更加简便，整体满意度得到了提升。

第七章 总结与展望

（一）研究总结

本研究针对660MW火电机组的运行优化问题，提出了基于智能算法的优化方法。通过对机组运行特性和影响因素的深入分析，我们构建了包含主蒸汽温压、给水流量和燃料流量等关键参数的优化模型。选择遗传算法和粒子群算法进行优化，并针对各算法的特点进行了相应的改进。实验结果表明，优化后的运行参数显著提高了机组的效率和经济性，减少了燃料消耗和排放。具体表现为，在优化参数条件下，机组的燃料利用率显著提升，同时排放的污染物明显减少，验证了本研究方法的有效性和实用性。

（二）研究不足与未来发展方向

尽管本研究取得了较为显著的成果，但仍存在一些不足之处，未来可以从以下几个方面进一步深入探索：

1. 算法性能优化：进一步优化智能算法的性能，如采用混合算法或引入多目标优化方法，以更加精准和高效地解决复杂的运行参数优化问题。
2. 智能化管理结合：将优化方法与大数据、物联网等先进技术相结合，实现更为智能化的机组运行管理，提升火电厂整体运行水平和管理效率。
3. 应用扩展：探索优化方法在其他类型电厂或工业过程中的应用前景，将研究成果扩展到更为广泛的领域，促进工业节能减排技术的不断进步。

参考文献

- [1] 胡莹, 赵阳, 宋扬. 300 MW 亚临界参数锅炉燃烧优化试验研究 [J]. 东北电力技术, 2024, 45(05): 41-44.
- [2] 揭跃. 基于多重聚类算法的火电机组运行参数优化研究 [D]. 东南大学, 2020. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2020.001126.
- [3] 齐天然. 火力发电厂脱硫效率与运行参数关联性分析及优化 [J]. 装备制造技术, 2024, (02): 144-146+155.
- [4] 谢昌亚, 朱龙飞, 胡嫫欧, 等. 660MW 超临界火电机组汽轮机及其调速系统精细化模型研究和应用 [J]. 热能动力工程, 2023, 38(06): 58-67. DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2023.06.007.
- [5] 闫佩育. 660MW 大型火电机组的多模型非线性解耦控制方法研究 [D]. 沈阳农业大学, 2023. DOI: 10.27327/d.cnki.gshnu.2023.000078.

面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统设计与实术

吴利辉

臻驱科技（柳州）有限公司，广西 柳州 545001

摘 要： 目前，随着社会经济的快速发展，使得工业信息化和城镇化水平不断提高，我国在能源需求持续增加的背景下已然成为世界最大的电气设备生产国和消费国。然而，当前国内电网企业信息化程度较低，难以实现海量数据的采集、传输、处理和分析，导致设备状态信息获取不及时，故障预警功能缺失。针对于此，本文对智能电气设备远程监测与维护系统展开了研究。首先分析了智能电气设备远程监控系统研究背景及现状，阐述了智能电气设备远程监测与维护系统应用意义，并在提供设计优选思路的同时，提出了一下应用优化策略，期望能为智能电气设备的维护提供帮助。

关 键 词： 产业互联网；智能电气设备；远程监测；远程维护

Design and Practice of Intelligent Electrical Equipment Remote Monitoring and Maintenance System for Industrial Internet

Wu Lihui

Zhenqu Technology (Liuzhou) Co., LTD. Liuzhou, Guangxi 545001

Abstract： At present, with the rapid development of social economy, making the level of industrial informatization and urbanization continue to improve, China has become the world's largest electrical equipment producer and consumer under the background of continuous increase in energy demand. However, the current domestic power grid enterprise informatization degree is low, it is difficult to achieve the collection, transmission, processing and analysis of massive data, resulting in equipment status information is not timely acquisition, failure warning function is missing. In view of this, the remote monitoring and maintenance system of intelligent electrical equipment is studied in this paper. Firstly, the research background and current situation of intelligent electrical equipment remote monitoring system are analyzed, the application significance of intelligent electrical equipment remote monitoring and maintenance system is expounded, and the application optimization strategy is proposed while providing the optimal design speed, hoping to provide help for the maintenance of intelligent electrical equipment.

Keywords： industrial internet; intelligent electrical equipment; remote monitoring; remote maintenance

引言

我国是能源消耗大国，电网运行安全与国民经济的平稳发展密切相关。当前，随着智能电网建设在全国范围内如火如荼地展开，使得国内外学者针对智能电网中的智能设备监控技术进行了大量研究。而在近年来，随着大数据等新兴信息技术的快速发展，促使智能电网进入新的发展阶段，在这其中基于产业互联网的远程监测系统作为智能电网的重要组成部分，可实现对变电站内多类智能电气设备的状态监测和故障诊断。

一、智能电气设备远程监控系统研究背景及现状

（一）智能电气设备远程监控系统的研究背景

随着科技的飞速发展，智能电气设备在工业生产和日常生活中扮演着越来越重要的角色。在智能化电气设备应用于工业生产和日常生活时，这些设备的高效运行对于保障生产安全、提高生

活质量具有重要意义。但在工业生产与日常生活的应用中，由于智能电气的工作环境变化、老化磨损等，所以相关人员对智能电气设备进行实时监控十分具体现实意义，以便能及时发现问题并进行维护^[1]。

（二）电气设备远程监控系统概述

电气设备远程监控系统的发展历程可以追溯到20世纪末，在

作者简介：吴利辉（1987.08-），男，侗族，广西柳州市三江县人，本科，中级，研究方向：电气工程及其自动化，电气自动化技术。

当时计算机网络技术的快速发展之下，研究人员开始探索如何将这些技术应用于电气设备的监控和管理。在20世纪的探索最初，研究人员的主要探索方向集中在本地监控。而随着互联网技术的普及和物联网概念的提出，使得研究人员开始转向远程监控系统方向的研究。研究人员通过互联网技术的开发，使得系统可以通过网络将数据传输到远程服务器或控制中心，实现了跨地域的实时监控和管理。近年来，随着5G技术的商用化，远程监控系统又迎来了新的发展机遇。在远程系统的研究当中，研究人员通过应用5G网络，使得数据处理更加靠近数据源，进一步降低了延迟，提高了系统的响应速度和可靠性。

（三）电气设备远程监控系统应用现状

远程监控系统在电力行业领域中，主要被广泛应用于变电站和输电线路的监控。远程监控系统在制造业的应用中，使得工厂管理者可以实时了解生产线上的电机等设备的运行状态，避免因设备故障导致的生产停滞。例如，汽车制造厂在内部生产中，利用远程监控系统的功能可以对焊接机器人、装配线电机等机械设备进行实时监控，以此来进一步确保生产过程的连续性和产品质量的稳定性。

（四）电气设备远程监控系统未来发展方向

随着物联网技术的不断进步，使得电气设备远程监控系统未来发展将更加智能化。具体而言，在未来的工作人员电气设备远程监督系统应用中，会在应用中结合大数据分析和机器学习算法，来加强远程监测与维修系统的预测问题能力，从而减少机械设备的故障发生率和维护成本。除此之外，在该系统的未来应用中，研究人员还可以通过集成化将使其能够与更多的设备和系统进行无缝对接，提高整体的运行效率和管理水平^[2]。

二、面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统应用意义

（一）提高设备运行效率与可靠性

现如今，在企业内部机械设备的实际生产作业当中，工作人员在机械设备的监测与维修中，通过智能电气设备远程监测与维护系统的拥有，能够及时发现潜在的故障和性能下降问题。除此之外，远程监测系统在企业机械设备的生产作业当中，还能帮助工作人员实现对设备运行参数的精确控制，来达到优化设备的工作模式与状态的目的。具体而言，在企业生产间机器的运作中，通过应用远程监测与维护系统进行智能诊断和故障预测，维护人员可以有针对性地准备维修工具和备件，以此来进一步提升设备的可靠性与稳定性。

（二）降低维护成本与停机时间

随着工业4.0时代的到来，智能电气设备远程监测与维护系统在产业互联网中的应用变得越来越广泛。这种基于互联网的系统在企业机械设备的生产运作中，可以通过集成先进的传感器等手段对运行状态进行实时监控和分析，从而显著降低了维护成本与停机时间。具体而言，该系统在企业的实际生产作业中，使得工作人员能够实时收集设备运行中的相关数据，在结合大数据分析

和机器学习算法等技术手段，使得维护工作可以由传统的定期检查转变为基于实际需要的预防性维护，这极大的减少了不必要的维护活动和相关成本^[3]。

（三）实现预测性维护，减少意外故障

面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统在实现预测性维护方面具有显著的应用意义。工作人员通过实时监测系统中反应出的机械设备运行状态，能够及时分析出设备的健康状况，并精准的预测可能出现的故障。在某知名汽车制造厂的实际应用案例中，该厂的冲压车间通过安装智能监测系统，使得工作中人员在一次监测中及时发现某台压力机的振动频率出现异常，经过该系统数据反馈分析判断，可能是由于某个连接部件出现了微小裂纹。工厂根据系统的预警及时进行了检查和维修，避免了可能发生的设备损坏和生产停滞。通过这种预测性维护，不仅减少了意外故障的发生，还大大降低了维护成本和提高了生产效率^[4]。

（四）促进数据驱动的决策制定与优化管理

近年来，在市场竞争愈发激励的环境下，使得企业需要对于自身生产作业进行更加精细化的管理，面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统变得越来越重要。在促进数据驱动的决策制定与优化管理层面，智能电气设备远程监测与维护系统应用能够帮助企业决策者实时收集设备运行数据，在做出管理决策之前对设备的运行状态进行深入分析，从而做出更加科学和精准的决策。例如，通过在设备监测中应用该智能系统，工作人员可以及时对设备运行数据进行分析，以此来帮助企业决策者优化生产流程，在减少能源消耗的同时提高产品质量。

三、面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统设计思路

（一）模块化设计与集成

基于市场对智能电气设备远程监测与维护系统需求不断增加的背景之下，研究人员在该系统设计之中发现，模块化设计是该系统稳定运行的关键。基于此，研究人员在设计之处通过将系统分解为多个功能独立的模块，以此来实现系统的灵活性和可扩展性。在智能电气设备远程监测与维护系统的运行中，每个模块分别负责特定的功能，远程控制和用户交互等。这种基于模块化的设计思路应用不仅有助于简化系统的开发和维护，还能够根据产业互联网的特定需求进行定制化集成，进一步满足市场需求^[5]。

（二）实时数据处理与分析

随着经济的发展，产业互联网的兴起为智能电气设备的远程监测与维护带来了新的机遇和挑战。企业管理者为了应对这些挑战，就需要在内部设备生产作业中，设计出一个高效稳定运行的系统。基于此，研究人员在智能电气远程监测与维护系统设计中就需要加入实时数据处理与分析，来确保数据的即时性和准确性。实时数据处理与分析模块需要具备高效的数据采集能力，能够从各种智能电气设备中收集数据。这些数据包括但不限于设备运行状态、能耗、温度、振动等关键参数。系统应采用先进的数

据采集技术，如物联网 (IoT) 传感器和边缘计算，以确保数据的实时性和完整性。

（三）智能预警与故障诊断

智能预警与故障诊断是面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统的核心功能之一。研究人员在设计这一系统时，其首先需要集成各类传感器和数据采集模块，以实时监控电气设备的运行状态。而在系统的数据处理方面，研究人员可以采用如机器学习和人工智能技术，通过分析电流和电压的波动模式预测电气设备可能出现的过载或短路情况，并及时向维护人员发出预警^[6]。

（四）远程维护与智能升级

现在，随着物联网技术的飞速发展，面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统设计思路已经变得越来越成熟。而在研究人员的智能电气设备远程监测与维护系统的设计中，远程维护与智能升级作为其中的重要组成部分，在设计中通过建立一个集中式的远程维护平台，就可以实现对分布在不同地理位置的电气设备进行实时监控和故障诊断。该平台能够收集设备运行数据，通过大数据分析技术，预测设备潜在的故障风险，并及时向维护人员发出预警。在该系统的实际应用中，智能升级功能的设置确保了设备固件和软件能够自动更新，以适应不断变化的技术标准和业务需求。此外，智能升级模块应具备回滚机制，一旦升级过程中出现问题，能够迅速恢复到之前的稳定版本，保证设备的可靠性。

四、智能电气设备远程监测与维护系统应用优化策略

（一）进行数据采集与处理高效化策略

企业在智能电气设备远程监测与维护系统的应用优化中，为了实现智能电气设备远程监测与维护系统的数据采集与处理高效化，其可以通过采用先进的数据采集技术来实现。在企业该系统的应用中通过部署高精度的温度传感器实时监测电气设备的运行状态。除此之外，企业还可以建立高效的数据处理流程来优化数据准确性。利用大数据分析和机器学习算法，对采集到的数据进行深入分析，可以预测设备的维护周期，从而优化维护计划，减少不必要的维护工作和成本。

（二）对实时监控系统进行智能化升级

智能化升级可以通过引入先进的数据分析技术，如人工智能和机器学习算法，来实现对设备运行状态的更深层次理解。例如，通过收集设备运行数据，利用机器学习算法可以预测设备可能出现的故障，从而提前进行维护，避免突发性故障导致的生产中断。除此之外，智能化升级还可以包括引入自适应控制机制，使监控系统能够根据设备的实时状态自动调整控制参数，以优化设备性能。

（三）预测性维护算法的精准化

企业在智能电气设备远程监测与维护系统的优化中，可以通过机器学习和深度学习技术，构建出更为复杂的模型来识别设备状态的微小变化，通过这些设备运行中微小的变化进行精细化的设备潜在故障预测。除此之外，企业在算法的优化时还应结合专家系统和知识库，可以在实施中将领域专家的经验和知识融入到预测模型中，帮助维护人员更好地理解预测结果。

（四）用户界面的友好性改进与个性化定制

为了提高智能电气设备的运行效率和可靠性，企业在进行系统设计时需要对其进行智能化升级。例如，在智能化升级的过程中，企业可以重点对用户界面进行设计，确保操作人员在工作中能够轻松地理解和使用系统。在具体的策略应用中，企业可以采用直观的图表和实时数据展示，帮助操作人员快速掌握设备的运行状况。与此同时，企业还需要定期对系统进行维护和更新，确保监控系统的稳定性和准确性。

五、结语

综上所述，随着互联网技术的发展，传统工业中电气设备维护系统已无法满足当下的企业需求。针对于此，本文对面向产业互联网的智能电气设备远程监测与维护系统进行设计与应用分析，基于系统架构对设备管理模块、监控中心模块及运维服务平台进行详细阐述。通过这些设计与应用思路的提出，相信该系统可以为各行业设备管理者提供技术支撑，推动电气装备智能化升级。未来，在相关工作者的不断努力之下，相信智能电气设备远程监测与维护系统将向更加智能、高效化的方向前进。

参考文献

- [1] 林浩晨. 基于深度学习的电气设备远程监测与运行检修系统研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (06): 53-55.
- [2] 雷雨鑫, 马林杰, 路洪鹏, 等. 基于物联网的建筑电气设备监测与远程控制技术 [J]. 模具制造, 2024, 24(03): 197-199. DOI: 10.13596/j.cnki.44-1542/th.2024.03.062.
- [3] 鲁熾亮. 基于物联网技术的电气设备远程监测与运行检修系统研究 [J]. 家电维修, 2024, (03): 13-15.
- [4] 陶睿, 孙菁焱. 基于物联网技术的电气自动化二次设备远程监测系统的设计 [J]. 自动化应用, 2023, 64(21): 197-199+202.
- [5] 韩妩佳, 张斌斌. 电力设备状态在线监测系统的设计和实现 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 318-319. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.10.147.
- [6] 董方. 基于互联网+电力用户远程监测系统研究 [D]. 中国矿业大学, 2020. DOI: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2020.002547.

直流换流站在电力系统中的作用和发展趋势

黄宇杰¹, 席冰清²

1. 国网新疆超高压分公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

2. 国网新疆超高压分公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要： 在工业化进程不断加快的背景下, 使得可再生能源得到了大规模开发利用, 输电系统的发展也向远距离、大容量方向前进。其中直流输电技术的应用能有效解决中长距离电能传输问题, 是未来电力系统的重要发展趋势。针对于这一研究方向, 本文首先对直流换流站概述及对其电力系统中应用现状进行分析, 随后阐述了直流换流站在电力系统中应用的意义, 并针对实际应用中存在的问题提出了相应的优化策略, 同时基于当前应用现状进行发展趋势的分析, 期望能为直流换流站的建设做出贡献。

关键词： 直流换流站; 电力系统; 发展趋势

The Role and Development Trend of Dc Converter Station in Power System

Huang Yujie¹, Xi Bingqing²

1. Xinjiang Ultra-High Pressure Branch of State Network, Urumqi, Xinjiang 830000

2. Xinjiang Ultra-High Pressure Branch of State Network, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： Under the background of accelerating industrialization process, renewable energy has been developed and utilized on a large scale, and the development of transmission system has also moved in the direction of long-distance and large-capacity. The application of DC transmission technology can effectively solve the problem of medium and long distance power transmission, which is an important development trend of the future power system. In view of this research direction, this paper first summarizes the DC converter station and analyzes its application status in power system, then expounds the significance of the application of DC converter station in power system, and puts forward corresponding optimization strategies for existing problems in practical application, and analyzes the development trend based on the current application status. Hope to contribute to the construction of DC converter station.

Keywords： DC converter station; electric power system; development trend

引言

目前我国能源问题日益突出, 而电能作为一种清洁、高效的能源, 在未来的发展中将起到越来越重要的作用。如何利用好电力资源成为了目前迫切需要解决的问题。与传统的交流输电系统相比, 直流输电系统具有输送容量大、效率高、损耗小等特点, 因而在电力系统中得到广泛应用。直流换流站是整个电力系统运行的核心部分, 其稳定运行决定着整个电力系统的正常运行。因此研究直流换流站在电力系统中的作用和发展趋势具有重要意义。

一、直流换流站概述及在电力系统中应用现状

(一) 直流换流站定义及特点

随着电力电子技术的不断进步, 使得当前各行各业对直流换流站的应用范围正在不断扩大, 它在特别是在可再生能源的大规模接入和远距离输电领域等现代电力系统中, 扮演着越来越重要的角色。直流换流站是电力系统中用于实现交流电与直流电相互转换的设施, 主要由换流器、变压器、控制保护系统以及相关的辅助设备组成。直流换电站的核心是换流器, 在工作中通过电力电子开关器件如晶闸管、IGBT等实现电能的交直流转换。直流换

流站与传统交流输电相比具有高效能量传输、灵活的功率控制、系统稳定性增强、无交流系统同步问题和环境影响小等特点, 且直流输电在长距离输电时具有更低的线路损耗和更高的传输效率, 特别适用于跨海、超高压等特殊场合^[1]。

(二) 电力系统的发展背景

近年来在工业革命的不断推进下, 使得电力系统逐渐成为现代社会不可或缺的基础设施。早在19世纪末时随着托马斯·爱迪生发明了实用的电灯泡, 以及尼古拉·特斯拉和乔治·威斯汀豪斯在交流电和直流电技术上的竞争, 就使得电力系统开始迅速发展。直到20世纪初电力开始被广泛应用于工业生产, 而电力系统从最初的直

流发电逐步过渡到交流发电，交流输电技术因其长距离输电的高效性而成为主流。到了20世纪中叶时，由于大规模的电网建设开始兴起，使得电力系统开始形成覆盖广泛、相互连接的网络。这不仅提高了电力供应的可靠性，也促进了电力资源的优化配置。而到了现在随着可再生能源技术的快速发展，风能、太阳能等清洁能源开始大规模并入电网，电力系统面临着新的挑战和机遇。为了适应这些变化，智能电网技术应运而生，它通过集成先进的信息通信技术，实现了电网的智能化管理，提高了电网的运行效率和可靠性。

（三）直流换流站技术在电力系统中的应用现状

直流换流站技术在现在的电力系统中应用已经变得越来越广泛和成熟。伴随着国家的大力支持使得可再生能源迅速发展，直流换流站作为连接不同电网和传输长距离电力的关键技术，其重要性日益凸显。目前高压直流输电（HVDC）技术已经成为实现大规模、远距离、低损耗电力传输的首选方案。直流换流站在电力系统中不仅用于连接不同频率的交流电网，还用于实现海底电缆的电力传输，以及在电网互联中发挥重要作用。例如欧洲的北欧电力市场通过直流换流站实现了与中欧电网的互联，有效提高了整个区域的电力供应稳定性和经济性。除此之外直流换流站在孤岛电网和微电网系统中也扮演着重要角色，为这些系统提供了灵活的电力接入和控制手段。随着电力电子技术的不断进步，特别是宽禁带半导体材料的应用使得直流换流站的性能得到了显著提升。直流换电站中新型的换流器如基于IGBT（绝缘栅双极晶体管）和GaN（氮化镓）的换流器的应用，可以在提高换流效率的同时，缩小了设备体积，使得直流换流站更加经济和高效^[2]。

二、直流换流站在电力系统中应用的意义

（一）提高电网传输效率与稳定性

随着全球能源需求的不断增长和可再生能源的大规模接入，使得电力系统运行中的稳定性和数据传输效率的提升显得尤为重要。而直流换流站技术在电力系统中的应用，为解决这些问题提供了有效的技术手段。举例来说高压直流输电技术能够实现远距离、大容量的电能传输，并且在传输中产生的损耗远低于传统的交流输电系统。例如中国建设的“西电东送”工程，通过直流换流站将西部地区的水电和风电输送到东部负荷中心，不仅提高了电网的传输效率，还有效缓解了东部地区的电力紧张状况^[3]。

（二）促进可再生能源的高效整合

工作人员在目前的电力系统运行中，通过直流换流站技术的应用可以促进可再生能源的高效整合。在全球对可持续能源的需求不断增长背景下，使得风能、太阳能等可再生能源的开发和利用变得越来越重要。然而由于这些能源的发电特性与传统化石燃料发电有所不同，使得这些可再生能源通常在开发中具有间歇性和不稳定性，这给电网的稳定运行带来了挑战。但随着直流换流站技术应用得到普及，使得工作人员在电网运行中能够有效地解决这一问题。在电网的运行中通过直流换流站，可再生能源发电可以实现长距离、大容量的电力传输。例如，海上风电场产生的电力可以通过直流输电线路传输到陆地，减少了因距离过长而造成的能量损耗^[4]。

（三）实现跨区域电力资源优化配置

直流换流站技术在电力系统中应用的意义之一，是帮助工作人员实现跨区域电力资源优化配置。例如在中国正在建设的“西电东送”工程中，该项目负责人就是利用直流换流站技术将西部丰富的水电、风电和太阳能发电资源输送到电力需求较大的东部地区。项目复杂人通过安排工作人员建设特高压直流输电线路，来可以有效减少输电过程中的能量损耗，提高输电效率。

（四）支持智能电网技术的发展与应用

如今在电力系统的运行当中，研究人员发现应用直流换流站技术能够实现远距离、大容量的电力传输，这对于连接分散的可再生能源发电基地与负荷中心至关重要。例如相关工作者通过高压直流输电技术在电网系统重点应用，可以将风能和太阳能资源丰富的偏远地区产生的电力高效输送到人口密集的城市地区，从而有效缓解能源分布不均的问题。除此之外直流换流站技术还支持智能电网技术的发展与应用。智能电网技术通过集成先进的信息通信技术、自动化控制技术和电力电子技术，在电力系统的运行中能够实现电网的高效、可靠和安全运行^[5]。

三、当前直流换流站在电力系统中应用挑战及优化策略

（一）设备可靠性与寿命问题

在如今的直流换流站中技术应用中，设备的可靠性与寿命是确保整个电力系统稳定运行的关键因素。在实际工作中由于直流换流站中使用的是高压直流设备，由于长期高压工作环境会导致这些设备的可靠性与寿命出现问题。例如换流阀由大量的半导体器件组成，任何一个器件的故障都可能导致整个换流阀甚至整个换流站的故障。此外，由于直流输电系统中不存在自然过零点，因此故障清除和恢复时间较长，对设备的可靠性要求更高。针对这一现状，相关工作人员需要在设备选型时选择经过长期运行验证的成熟技术，并在关键设备上通过采用冗余设计提高系统的整体可靠性。例如可以通过采用双阀组并联设计，该设计及时工作中一组设备发生故障，但另一组仍可保证系统正常运行。

（二）电磁兼容性问题

电磁兼容性是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作，同时不对该环境中的任何设备产生不可接受的电磁干扰。该问题在直流换流站中的产生往往是由于大功率电力电子设备的使用导致的。这些干扰可能来源于换流器的开关动作、电缆的高频传输以及接地系统的设计等。

研究人员为了解决这些问题，可以在直流换电站技术应用时设计合理的接地系统。研究人员在具体实施中通过采用多点接地和等电位连接的设计思路，可以在电力系统的应用中减少地环路的形成，从而达到降低地环干扰的目的^[6]。

（三）系统控制与保护的复杂性

随着直流换流站在电力系统中的广泛应用，系统控制与保护的复杂性也日益凸显。工作人员直流换流站技术在电力系统的应用中，由于直流输电系统本身不具有自然的电流过零点，这使得在故障发生时电流的切断变得更为困难。所以就要求工作人员在电力系

统设计时，换流站的控制系统必须具备极高的响应速度和精确性，以确保在各种运行条件下都能维持系统的稳定性和可靠性。工作人员在具体实施中开采用如模型预测控制和自适应控制策略，这些算法能够实时调整控制参数，以适应电网的动态变化。除此之外工作人员还可以通过集成更多的传感器和智能设备，来实现对换流站运行状态的实时监控，从而提高故障检测和隔离的效率。

（四）经济性与环境影响

当前，全球正面临能源转型和环境保护的双重压力，这使得直流换流站在电力系统中的应用面临诸多机遇与挑战。在机遇方面是随着可再生能源的大力发展，直流输电因其高效、长距离传输的优势而得到广泛应用。而另一挑战层面指的是直流换流站的建设和运行对环境的影响以及经济性问题也日益凸显。具体而言在现在的直流换流站的建设和运行中，在使用化石燃料发电的背景下其会产生一定的碳排放。除此之外换流站运行中产生的电磁场和噪音污染也是不容忽视的环境问题。针对于此这些问题的优化策略之一是推动换流站的绿色能源配套，如太阳能和风能，以减少对化石燃料的依赖。与此同时相关单位还可以采用先进的电磁兼容技术和噪音控制措施，降低对周围环境的影响^[7]。

四、直流换流站的发展趋势

（一）向更高电压等级发展

在未来直流换流站的发展趋势将显著地向更高电压等级发展。在随着全球能源需求的不断增长和可再生能源大规模接入的时代背景下，使得高压直流输电技术因其高效、长距离传输的优势而变得越来越重要。例如中国在建设特高压直流输电工程方面取得了显著成就，如“一带一路”倡议下的中巴经济走廊，其中就包括了高压直流输电项目。举例来说未来可能会出现1200千伏特甚至更高电压等级的直流换流站。这些换流站将能够更有效地将风能、太阳能等可再生能源从偏远地区传输到负荷中心。例如一个位于沙漠中的大规模太阳能发电场，通过1200千伏特的直流换流站，可以将电力传输至数百公里外的城市而且损耗极低。

（二）向更大容量和更远距离发展

基于当前的经济环境与工业发展方向，使得直流换流站正朝着更大容量和更远距离的方向发展。例如中国正在建设的“特高压直流输电工程”就是这一趋势的典型代表。这些工程建设后可以将西部和北部的风能、太阳能资源高效传输到东部和南部的负荷中心，传输距离超过1000公里且输送容量达到12GW以上。而在国际的直流换流站发展趋势上也与国内相同，例如上欧洲的“北欧电力联网项目连接了挪威的水力发电站和德国的负荷中心，实现了约500公里的超长距离直流输电，输送容量为1400MW。

（三）智能化与数字化技术的融合

在以前的电力系统设计中，直流换流站作为重要的组成部分依赖于传统的控制和保护技术。这些传统技术虽然稳定可靠，但因操作复杂与维护成本高的原因已经跟不上时代发展需求。之后的换电站技术随着计算机技术发展开始引入了初步的自动化控制，但整体上仍处于相对原始的阶段。现在直流换流站的随着智

能化与数字化技术的融合，可以实现对电网运行状态的实时监控和智能分析。这些技术的应用显著提高了换流站的运行效率和可靠性，同时降低了运维成本。而在不远的未来，相信直流换流站的发展趋势将进一步向全面智能化和数字化迈进。预计会出现更加先进的自适应控制技术，这些技术能够使换流站根据电网的实时需求自动调整运行参数，实现最优的能源分配和利用^[8]。

（四）环境友好型设计与可持续发展

随着科技的进步和环保意识的增强，相信在不远的未来，直流换流站的发展将更加注重环境友好型设计与可持续发展。例如在未来预计新型的直流换流站将采用更高效的能量转换技术，通过高效能源转换技术来实现减少能源损耗的目的。与此同时预计环保材料也将被大量应用于建设中，以此来进一步降低直流换流站因建设于运行对环境的影响。除此之外还预计设计中会融入更多的智能化元素，如自动监测系统来实时调整运行状态。相信在不远的未来，换流站的建设将更加注重与自然环境的和谐共处，如采用绿色屋顶设计，利用自然通风和散热从而减少能源消耗和温室气体排放^[9]。

五、结语

综上所述，如今的直流换流站在电力系统中应用正面临着前所未有的发展机遇与挑战。随着技术的不断进步和对高效、环保能源需求的日益增长，直流换流站正朝着更高电压等级、更大容量、更远距离传输等方向发展。直流换流站的这些进步不仅能帮助工作人员提升电力系统运行中的稳定性和可靠性，还能在有效降低环境影响的同时推动能源可持续发展。然而随着直流换流站技术的不断演进，相关工作者也必须面对系统控制与保护的复杂性增加以及环境影响等挑战。所以相关研究者必须未来的发展中不断优化控制策略，提高换流站的智能化水平来实现技术进步与环境保护的双赢。

参考文献

- [1] 谭威, 汤曼丽, 孔志达. 高压直流换流站阀厅双层屏蔽巡视走道应用研究 [J]. 南方能源建设, 2022, 9(S2): 79-83. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S2.013.
- [2] 王亚琦, 李琳, 崔建业, 等. 直流滤波电容器心子振动机理及特性研究 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2022, 43(06): 1-10. DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2022.06.001.
- [3] 段根月, 苏靖武, 朱文杰. 换流站年度检修方式及直流设备预防性试验方法 [J]. 电气技术与经济, 2022, (06): 174-177.
- [4] 刘雨佳, 何柏娜, 吴硕, 等. 双辅支路抑制 HVDC 换流站直流侧故障方案 [J]. 东北电力技术, 2022, 43(12): 26-30.
- [5] 王文洪, 刘国兵, 张承周, 等. 不平衡工况柔性直流输电控制策略研究 [J]. 电力电子技术, 2022, 56(12): 107-111.
- [6] 张前楸. 交直流换流站的火灾报警系统设计与实现 [J]. 电子技术, 2022, 51(12): 64-66.
- [7] 张军, 樊培培. 以提升直流可用率为导向的换流站检修业务精益化管理 [J]. 企业管理, 2022, (S2): 16-17.
- [8] 周鹏杰, 甘伟扬, 李宣. 调相机与换流站交流滤波器的协调控制措施 [C] // 2022 年江西省电机工程学会年会论文集. 国网江西超高压公司, 2022: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.064463.
- [9] 汪文帅, 张新天, 卢涛, 等. 常规两端500kV高压直流输电系统主结构及参数设计 [C] // 中国电力技术市场协会. 2022年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集. 华能澜沧江水电股份有限公司小湾水电厂, 2022: 7. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.044222.

电力系统暂态稳定性分析与改进方法

邱源源

四川省机场集团有限公司，四川 成都 610200

摘 要： 本文概述了电力系统暂态稳定性的基本概念、影响因素和评价指标，探讨了电力系统暂态稳定性的分析方法，包括时域仿真法、直接法、人工智能法和小信号分析法，并提出了暂态稳定性的改进方法，如优化调度策略、FACTS装置应用、电力系统结构优化和人工智能技术的应用。最终，分析了我国电力系统暂态稳定性的现状及未来发展趋势，指出改进暂态稳定性是一个长期且复杂的任务，需要多方面的协同努力。

关 键 词： 电力系统；暂态稳定性；分析方法；改进方法；现状与展望

Transient Stability Analysis and Improvement Methods for Power Systems

Qiu Yuanyuan

Sichuan Provincial Airport Group Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610200

Abstract： This paper summarizes the basic concepts, influencing factors, and evaluation indicators of power system transient stability. It explores various analysis methods for transient stability, including time-domain simulation, direct method, artificial intelligence method, and small signal analysis. Additionally, improvement methods for transient stability are proposed, such as optimizing scheduling strategies, applying FACTS devices, optimizing the power system structure, and utilizing artificial intelligence technology. Finally, the paper analyzes the current status and future trends of transient stability in China's power systems, pointing out that improving transient stability is a long-term and complex task requiring collaborative efforts from multiple fronts.

Keywords： power system; transient stability; analysis method; improvement method; current status and prospects

引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施，其安全稳定运行对于保障国家经济发展和人民生活至关重要。在电力系统的运行过程中，暂态稳定性问题一直是电网安全领域的热点和难点。随着我国电网规模的不断扩大、新能源的大量接入以及电力市场的逐步形成，电力系统的暂态稳定性面临着前所未有的挑战。因此，深入研究电力系统暂态稳定性的基本理论、分析方法及改进措施，对于确保我国电力系统的安全稳定运行具有重要的理论和实际意义。

一、电力系统暂态稳定性概述

在电力系统的运行与发展中，暂态稳定性扮演着至关重要的角色。它不仅关系到电网的安全可靠运行，还直接影响到电力供应的质量和效率。

（一）暂态稳定性的定义

电力系统稳定性根据对故障的反应、干扰的性质和持续时间进行分类。主要类别包括小干扰和暂态稳定性、频率和电压稳定性。暂态稳定性是指系统在发生大干扰后保持同步的能力，例如三相故障，这是可能发生的关键故障。相比之下，频率稳定性描述电力系统在中断后保持恒定频率的能力^[1]。这种稳定性不仅涉及系统内能量的转换和分布，还涉及发电机、变压器、线路等设备的动态响应特性。简而言之，暂态稳定性是电力系统在紧急状

态下保持不失稳的能力。

（二）暂态稳定性的影响因素

电力系统的暂态稳定性是由众多因素交织影响而成的，其中系统结构的作用尤为关键。电网的拓扑结构、元件的连接方式以及电网的强度都直接决定了系统在遭遇干扰时的稳定性能。例如，长距离输电线路和联系薄弱的电网在受到冲击时更易出现稳定性问题。设备特性同样不容忽视，发电机的励磁系统、原动机的调节特性以及无功补偿装置的效能都是影响暂态稳定性的重要因素。运行方式的变化，如负荷水平、发电出力分配和电压水平的不同，也会对稳定性产生一定影响。不可预测的外部扰动，如自然灾害、操作失误或设备故障，都可能引发系统的大规模波动，对暂态稳定性构成挑战。因此，保障电力系统的暂态稳定性是一项复杂的系统工程，需要全面考虑这些相互交织的影响因素。

（三）暂态稳定性的评价指标

评价电力系统暂态稳定性的主要指标包括扰动后系统恢复到稳态的时间、系统的最大摇摆角度、最大摇摆速度以及系统在扰动后的能量变化。通常情况下，系统从扰动中恢复到稳态的时间越短，表明其暂态稳定性越好；同时，若扰动后系统的最大摇摆角度和速度较小，也反映出较强的暂态稳定性^[9]。此外，系统在遭受扰动后的能量变化越小，意味着系统的暂态稳定性越强。这些指标综合反映了电力系统在遭遇大扰动时的动态响应能力和稳定性水平。

二、电力系统暂态稳定性分析方法

尽管我国电力系统在暂态稳定性领域取得了显著成就，但前方仍充满挑战。在一些地区，电网结构的脆弱性使得它们难以抵抗大规模的扰动，这与电网的迅猛发展形成了鲜明对比。另外，新能源的融入，尤其是风电和太阳能的间歇性和不可预测性，为系统的稳定运行带来了前所未有的挑战。

（一）时域仿真法

时域仿真法，作为评估电力系统暂态稳定性的经典方法，通过精细模拟系统在时间轴上的动态响应来进行深入分析。该技术的核心在于建立一个精确的电力系统模型，其中包括发电机、变压器、输电线路等关键组件的动态方程。在特定的扰动场景下，利用数值积分方法求解这些方程，以监测和记录系统的实时动态。时域仿真法的优势在于其能够详尽地重现系统的动态过程，并为我们提供了丰富的参数变化数据，如发电机的转速、电压和功率等。然而，在处理庞大的电力系统时，这种方法也遭遇了计算量大和耗时长挑战。

（二）直接法

直接法是一种高效的暂态稳定性分析技术，它摒弃了传统的时域仿真复杂性，转而通过能量函数或稳定性指标来直接判断系统的暂态稳定性^[10]。该方法通常依据李雅普诺夫稳定性理论，通过构建系统的能量函数来推断扰动后的行为走向。直接法的一大亮点是其计算的高效率，这使得它在在线实时分析方面表现出色。尽管如此，该方法在精确度和适用范围上受制于能量函数的构建和稳定性指标的选择，这在分析复杂电力系统时可能会对直接法的分析和决策能力构成限制。

（三）人工智能法

随着人工智能技术的飞速发展，特别是机器学习，尤其是深度学习技术的崭露头角，这些尖端技术已经开始应用于电力系统暂态稳定性分析。通过训练模型以处理大量的历史和仿真数据，人工智能技术能够精确预测电力系统的暂态稳定性。人工智能方法的特点在于其处理非线性、非平稳复杂系统的强大能力，以及其潜在的自适应学习能力^[11]。然而，这些方法对数据的质和量有较高的要求，且在模型的可解释性方面存在短板，这些局限性限制了它们在实际应用中的广泛采用。

（四）小信号分析法

小信号分析法是一种基于线性化理论的稳定性评估方法，它

通过分析系统对微小扰动的反应来评估暂态稳定性。该方法主要针对系统的弱稳定性问题，通过计算特征值来确定稳定性边界。小信号分析法的显著优势在于其理论基础的严密性和计算过程的简洁性。然而，该方法不适用于直接分析较大的扰动，且在处理非线性系统时其分析能力有所局限。因此，在实际应用中，小信号分析法通常需要与其他分析技术结合使用，以最大化其效能。

三、电力系统暂态稳定性改进方法

电力系统的暂态稳定性是确保电网安全、可靠运行的基础要素。随着电网规模的持续扩大和结构复杂性的日益提升，如何有效地增强暂态稳定性已经成为电力工程领域面临的一项极具挑战性的研究课题^[12]。这不仅关系到电网的运行效率，更直接影响到电力供应的稳定性，进而对国民经济和社会生活产生深远影响。

（一）优化调度策略

优化调度策略在提升电力系统暂态稳定性方面扮演着至关重要的角色。该策略通过精确调整系统的各项运行参数，包括发电机出力的合理分配、负荷的最优配置，以及备用容量的高效运用，旨在最大化系统的稳定性。借助尖端的优化算法，可以在严格遵守系统运行约束的前提下，最大限度地提高暂态稳定性。具体而言，通过采取预防性控制措施，可以在扰动发生前调整系统的运行状态，有效降低遭遇干扰时的不稳定风险。一旦系统遭受实际扰动，能够迅速调整发电机出力 and 负荷分配，这种快速响应能力对于抑制系统振荡、确保电力系统的稳定运行至关重要^[13]。这种综合性的调度策略，不仅增强了电力系统的抗干扰能力，也为电网的可靠性和安全性提供了坚实的技术支撑。

（二）FACTS装置应用

灵活交流输电系统（FACTS）装置的广泛应用，为增强电力系统的暂态稳定性提供了强有力的技术保障。通过精心部署诸如静止无功补偿器（SVC）、静止同步补偿器（STATCOM）以及可控串联补偿器（TCSC）等先进的 FACTS 设备，电力系统得以实时、高效地调节无功功率和电压水平，从而优化其暂态响应性能。这些装置的优势在于其出色的实时调整能力，能够动态地改变系统参数，显著增强系统面对各种扰动的抵抗力。同时，得益于其卓越的快速响应特性，FACTS 装置能够大幅缩短系统从扰动中恢复至稳定状态的时间，有效遏制不稳定因素的蔓延，从而在整体上显著提升电力系统的暂态稳定性。这种技术的引入，不仅提高了电网的运行效率，也为保障电网的可靠与安全运行提供了坚实的支撑。

（三）电力系统结构优化

电力系统结构的优化对于提高暂态稳定性具有不可忽视的作用。通过精心调整网络结构，包括增加输电线路、改造电网布局、提升线路的传输能力等策略，我们能够有效地加固系统的整体稳定性框架。结构优化的核心目标是识别并减少系统中的薄弱环节，以此提高电网面对扰动的抵抗能力^[14]。此外，通过增强电网的互联互通，不仅扩大了系统的备用容量，也提升了其调节灵活性，这对于电力系统在遭遇突发情况时的快速响应和稳定恢复

至关重要。因此，这种结构优化为电力系统的暂态稳定性提供了坚固的基石，确保了电网在复杂多变环境中的可靠运行。

（四）人工智能在暂态稳定性改进中的应用

随着人工智能技术的飞速发展，电力系统暂态稳定性的提升迎来了新的契机。得益于机器学习、深度学习等前沿技术的应用，我们得以实现对电力系统运行状态的智能化监测与前瞻性预测，以及对控制策略的自动化优化。在电力系统中，人工智能的运用主要体现在两个方面：一是利用海量历史数据和实时信息，对暂态稳定性进行精确的预测和分析，为系统运行提供科学依据；二是通过智能优化算法，自动推导出最优控制策略，以应对各种可能的扰动情况，从而极大地提高了电力系统的暂态稳定性^[8]。这种技术的融合与应用，不仅增强了电力系统的自适应能力，也为电网的稳定运行和智能化管理开辟了新的道路。

四、我国电力系统暂态稳定性现状及展望

伴随着中国经济的强劲增长和能源需求的持续攀升，我国的电力系统正经历着规模的迅速扩张和复杂性的日益增加。这不仅体现在电网结构的日益复杂和覆盖范围的广泛延伸，还体现在电力系统运行管理的多元化和技术要求的提高。

（一）现状分析

目前，我国电力系统在暂态稳定性方面取得了显著的成果。这一成就主要体现在电网结构的持续加强上，通过新建输电线路和优化网络布局等策略，大幅提高了系统的整体稳定性。同时，大量灵活交流传输系统（FACTS）装置的部署，有效提升了系统对各类扰动的快速响应能力。此外，广域测量系统（WAMS）和基于相量测量单元（PMU）的先进控制技术的广泛应用，进一步提升了暂态稳定性监测与控制的精确性^[9]。这些技术进步的累积效应，为我国电力系统的安全稳定运行构筑了坚固的防线。

（二）存在问题

尽管我国电力系统在暂态稳定性领域取得了显著成就，但前

方仍充满挑战。在一些地区，电网结构的脆弱性使得它们难以抵抗大规模的扰动，这与电网的迅猛发展形成了鲜明对比。另外，新能源的融入，尤其是风电和太阳能的间歇性和不可预测性，为系统的稳定运行带来了前所未有的挑战。与此同时，随着电力市场的不断深化与演变，系统运行模式必须与之相适应。在市场化的大背景下确保电力系统的稳定性，已经成为我们亟待研究和解决的关键议题。

（三）发展趋势及展望

展望未来，我国电力系统暂态稳定性的发展将呈现几个清晰的趋势：先是电网智能化水平的持续提升，这将依赖于大数据、云计算、人工智能等尖端技术，实现对暂态稳定性更深入的分析 and 更精确的控制。之后，新能源并网技术的不断进步，将促进更高效、更可靠的并网解决方案的研发，以适应可再生能源比例的日益增长^[10]。然后，电力市场与系统运行的深度整合，将利用市场机制激励所有参与者共同维护电力系统的稳定性。最终，加强跨区域电网的互联互通，将进一步增强电力系统的互供能力和抵御扰动的能力，确保系统的安全与稳定运行。

五、结束语

本文从电力系统暂态稳定性的基本概念、分析方法、改进措施以及我国电力系统暂态稳定性的现状和展望等方面进行了详细探讨。通过对暂态稳定性问题的深入研究，不仅对电力系统暂态稳定性的内涵有了更加清晰的认识，而且为实际工程中的应用提供了理论依据和实践指导。在新的历史时期，我国电力系统正面临着前所未有的发展机遇和挑战。新能源的广泛接入、电力市场的逐步完善以及特高压技术的推广，都对电力系统的暂态稳定性提出了更高的要求。最终，本文虽然对电力系统暂态稳定性进行了较为全面的探讨，但仍有许多不足之处和待解决的问题。希望在今后的研究和实践中，广大学者和工程技术人员能够共同努力，为我国电力系统暂态稳定性的进一步提升做出更大的贡献。

参考文献

- [1]白金梁, 姜智业. 基于稳压器系统的电力系统暂态稳定性改善[J]. 电气技术与经济, 2023,(02):121-124.
- [2]邹焱. 基于Kuramoto模型的电力系统暂态稳定性分析与提升方法[D]. 浙江大学, 2023.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2023.001904.
- [3]詹献文. 基于CRMN和GRU的电力系统暂态稳定性预测与控制研究[D]. 贵州大学, 2023.DOI:10.27047/d.cnki.ggudu.2023.002332.
- [4]吴国庆, 黄新宇. 不同静态负荷模型对电力系统暂态稳定性影响分析[J]. 电气传动自动化, 2023,45(02):53-58+73.
- [5]彭鑫, 刘俊, 刘嘉诚, 等. 图像化数据驱动的电力系统暂态稳定性在线评估方法[J]. 智慧电力, 2022,50(11):17-24.
- [6]张谦. 基于改进Gronwall不等式的电力系统暂态稳定研究[D]. 浙江大学, 2022.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.002159.
- [7]周高涵. 基于机器学习算法的电力系统暂态稳定性评估研究[D]. 武汉理工大学, 2022.DOI:10.27381/d.cnki.gwlgw.2022.001100.
- [8]李青. 基于改进Euler法的电力系统暂态稳定性的非线性仿真研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2021,33(15):41-43.
- [9]刘挺坚. 基于人工智能的电力系统暂态稳定在线分析与控制方法研究[D]. 四川大学, 2021.DOI:10.27342/d.cnki.gscdu.2021.002791.
- [10]孙黎. 含直流输电的交流电力系统暂态稳定性研究[D]. 华北电力大学(北京), 2020.DOI:10.27140/d.cnki.ghbbu.2020.000116.

基于人工智能的电力系统故障诊断与预测

张小龙

四川省机场集团有限公司，四川 成都 610200

摘 要： 本文围绕电力系统故障诊断与预测的理论框架进行了系统研究。在深入探讨电力系统故障诊断与预测算法之前，本文先对电力系统的故障机理进行了详尽分析，从而为后续的诊断与预测工作奠定了坚实的理论基础。接着，概述了人工智能技术，包括机器学习算法原理、深度学习网络结构、支持向量机理论和神经网络的发展现状，为故障诊断与预测提供了技术支撑。在故障诊断方法研究中，本文探讨了故障特征提取与选择，构建了基于聚类分析、关联规则和集成学习的诊断算法，并评估了诊断模型的性能。在故障预测方法研究中，本文对预测方法进行了分类与比较，构建了基于时间序列分析、回归分析和混合模型的预测算法，并进行了预测结果的验证与优化。

关 键 词： 人工智能；故障预测；机器学习；深度学习；支持向量机

Artificial Intelligence-Based Fault Diagnosis and Prediction in Power Systems

Zhang Xiaolong

Sichuan Provincial Airport Group Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610200

Abstract： This paper systematically studies the theoretical framework of fault diagnosis and prediction in power systems. Before delving into the algorithms for fault diagnosis and prediction in power systems, this paper first conducts a detailed analysis of the fault mechanisms in power systems, laying a solid theoretical foundation for subsequent diagnosis and prediction work. Then, it provides an overview of artificial intelligence technologies, including the principles of machine learning algorithms, deep learning network structures, support vector machine theory, and the current development status of neural networks, which offer technical support for fault diagnosis and prediction. In the study of fault diagnosis methods, this paper explores fault feature extraction and selection, constructs diagnostic algorithms based on cluster analysis, association rules, and ensemble learning, and evaluates the performance of the diagnostic models. In the study of fault prediction methods, this paper classifies and compares prediction methods, constructs prediction algorithms based on time series analysis, regression analysis, and hybrid models, and performs verification and optimization of prediction results.

Keywords： artificial intelligence; fault prediction; machine learning; deep learning; support vector machines

引言

随着我国经济的快速发展，电力系统的规模不断扩大，结构日益复杂，电力系统的稳定性和可靠性成为保障国家能源安全的重要议题。在这样的背景下，电力系统故障诊断与预测技术显得尤为重要。

近年来，人工智能技术在众多领域取得了显著的成果，其在电力系统领域的应用也日益受到关注。人工智能技术，特别是机器学习、深度学习等方法，为电力系统故障诊断与预测提供了新的理论依据和技术手段。通过对故障机理的深入分析，结合人工智能算法，可以有效提高故障诊断与预测的准确性、实时性和稳定性。

一、电力系统故障诊断与预测理论框架

为深入探究电力系统故障诊断与预测的核心机制，本研究构建了一套理论框架，该框架包括对电力系统故障机理的详细剖析，以及人工智能技术在故障诊断与预测领域的应用原理探讨。

（一）电力系统故障机理分析

电力系统故障机理分析构成了故障诊断与预测工作的理论基

石。作为一项高度非线性、动态演化的复杂系统，电力系统的故障成因呈现出多样性和复杂性，涵盖了设备老化、操作失误、环境干扰等多个方面。通过对故障机理的深入研究和解析，我们能够揭示故障发生的内在规律和根本原因，为电力系统的故障诊断与预测提供坚实的理论基础。

故障机理分析不仅关注设备或系统的物理损坏过程，还涉及电气参数的异常变化、保护装置的動作逻辑以及系统稳定性的动

态评估。这一分析过程要求综合考虑电力系统的结构特性、运行状态、控制策略及外部环境因素，以全面理解故障的孕育、发展直至最终发生的整个过程。通过对故障机理的深入探究，研究人员能够提炼出故障特征的关键信息，进而指导故障诊断算法的设计和优化，提高预测模型的准确性和可靠性。

（二）人工智能技术概述

自从 2006 年，AlphaGo 成功的战胜了世界围棋高手李世石开始，人工智能这个词语就深深的映入人们眼帘，成为当年热度最高的科技话题。目前随着人工智能技术飞快的发展，我们已经在日常生活中看多许许多多关于人工智能的产品^[1]，人工智能技术作为一种模拟人类智能行为的方法论，为电力系统故障诊断与预测提供了强大的工具。在探讨机器学习算法原理时，核心焦点在于如何利用数据驱动机制，实现计算机对模型的自动学习和优化过程。机器学习算法通过对大量历史故障数据的训练，能够挖掘出故障特征与故障类型之间的关联性，从而实现故障的智能诊断。

深度学习网络结构作为一种高效的特征提取和模式识别工具，在电力系统故障诊断与预测中发挥着重要作用。深度学习通过多层神经网络结构，能够自动提取故障数据的抽象特征，提高故障诊断的准确性和实时性。此外，深度学习网络在处理复杂非线性问题方面具有显著优势，有助于揭示电力系统故障的深层规律。

支持向量机理论是一种基于统计学习理论的机器学习方法，它通过寻找最优分类平面，实现故障样本的有效分类^[2]。在电力系统故障诊断与预测中，支持向量机具有较强的泛化能力和抗干扰能力，能够在有限样本条件下获得满意的诊断效果。

神经网络作为一种模拟人脑神经元结构的计算模型，在电力系统故障诊断与预测领域取得了丰硕的成果。随着神经网络的不断发展，各种新型网络结构和技术层出不穷，如卷积神经网络、循环神经网络等，为电力系统故障诊断与预测提供了更多可能性。当前，神经网络在故障诊断与预测方面的研究正朝着更加智能化、高效化的方向发展。

二、故障诊断方法研究

在电力系统故障诊断领域，方法研究是提升诊断效率和准确性的关键所在。以下将深入探讨故障诊断方法的研究内容，包括故障特征提取与选择、诊断算法构建以及诊断模型性能评估。

（一）故障特征提取与选择

故障特征提取与选择是故障诊断方法研究的首要环节。在此环节中，借助数学变换与信号处理技术，从原始监测数据中提炼出能够表征故障本质的特征量。这些特征量应当具有高辨识度、低冗余性，以便于后续诊断算法能够准确识别故障类型^[3]。特征选择则是在提取出的众多特征中，筛选出对故障诊断贡献最大的特征子集，这有助于降低诊断算法的复杂度，提高诊断效率。

（二）诊断算法构建

在诊断算法构建方面，基于不同理论和方法的研究层出不

穷。基于聚类分析的故障诊断方法，通过将相似故障数据归为一类，实现对故障的自动识别。聚类算法无需预先设定故障标签，能够发现数据中的潜在模式，对于处理未知故障类型具有显著优势^[4]。而基于关联规则的故障诊断方法，则侧重于挖掘故障特征之间的内在联系，通过构建故障规则库，实现对故障的快速定位。

进一步地，基于集成学习的故障诊断方法，融合了多种单一诊断模型的优点，通过投票或堆叠等方式，提高了故障诊断的准确性和鲁棒性。集成学习能够有效减少单一模型的过拟合风险，提升模型在复杂多变电力系统环境中的泛化能力。

（三）诊断模型性能评估

最后，诊断模型性能评估是故障诊断方法研究不可或缺的一环。评估指标包括准确率、召回率、F1 分数等，它们从不同角度反映了诊断模型在实际应用中的性能。性能评估的实施使得诊断模型的效果得以量化，从而为模型的进一步优化与改进提供了可靠依据。此外，交叉验证、混淆矩阵等评估方法的应用，确保了评估结果的客观性和可靠性，为电力系统故障诊断的实践应用奠定了坚实基础。

三、故障预测方法研究

在电力系统安全运行保障体系中，故障预测方法研究扮演着至关重要的角色。它不仅能够提前发现潜在故障，还为系统维护 and 健康管理提供了科学依据。以下将详细探讨故障预测方法的研究内容，包括预测方法的分类与比较，以及预测算法的构建。

（一）预测方法分类与比较

预测方法分类与比较是故障预测研究的起点。根据不同的理论基础和技术特点，故障预测方法可分为时间序列分析、回归分析、机器学习以及混合模型等多种类型^[5]。每种方法都有其独特的优势和适用场景。例如，时间序列分析擅长处理具有明显趋势和季节性的数据，而回归分析则更侧重于挖掘变量之间的因果关系。通过对性能的系统性评估，实现了对诊断模型效果的量化分析，为模型的深入优化与持续改进奠定了坚实的数据基础。

（二）预测算法构建

在预测算法构建方面，基于时间序列分析的预测方法，通过分析历史数据的时间依赖性，建立预测模型。这类方法通常包括自回归模型（AR）、移动平均模型（MA）以及自回归移动平均模型（ARMA）等^[6]。它们能够有效地捕捉电力系统参数的动态变化，为故障预测提供了一种有效的手段。

基于回归分析的预测方法，则侧重于建立因变量与自变量之间的数学关系。线性回归、逻辑回归等算法在此领域得到了广泛应用。这些算法通过拟合历史数据，构建回归模型，从而对电力系统的未来状态进行预测。回归分析在处理具有明确因果关系的故障预测问题中表现出较高的准确性。

此外，基于混合模型的预测方法，是将不同预测方法的优势结合起来，以提高预测的准确性和鲁棒性。这类方法通常涉及多种算法的融合，如将时间序列分析与机器学习算法相结合^[7]，或

者将回归分析与深度学习网络相集成。混合模型能够从不同角度捕捉数据特征，从而在复杂多变的电力系统环境中实现更为精准的故障预测。

四、故障诊断与预测算法性能分析

在电力系统故障诊断与预测领域，算法性能分析是评估和优化算法的关键环节。以下将详细探讨故障诊断与预测算法的性能分析，包括算法稳定性、准确性和实时性三个方面。

（一）算法稳定性分析

算法稳定性分析是衡量故障诊断与预测算法在实际应用场景中可靠性的核心指标。该分析深入探讨了算法在遭遇多样化工况、噪声干扰、数据缺失等复杂因素时的表现，特别是其输出结果的一致性与鲁棒性^[8]。稳定性优异的算法应具备在多变且复杂的环境条件下，维持诊断与预测结果相对稳定的能力，从而有效避免因环境变动导致的性能大幅度波动。

稳定性分析不仅揭示了算法在应对各种挑战时的潜在缺陷，更为针对性地优化和提升算法在实际应用中的可靠性提供了重要的理论依据和技术指导。通过深入剖析算法在不同场景下的表现，我们能够针对性地制定改进措施，以增强算法的适应性和鲁棒性，确保其在复杂多变的应用环境中发挥稳定、高效的作用。在此基础上，稳定性分析对于推动故障诊断与预测技术的发展，保障关键基础设施安全运行具有重要意义。

（二）算法准确性分析

算法准确性分析是评估故障诊断与预测算法性能的关键组成部分。该分析专注于算法在故障类型识别、故障发生时间及位置预测等方面的精确度^[9]。一个高性能的算法不仅应具备对已知故障类别进行准确分类的能力，还应当能够有效识别和预测未知或罕见的故障模式，这对于保障系统稳定运行至关重要。

准确性分析的过程通常涉及一系列严谨的实验方法，如对比实验、交叉验证等，以量化算法的性能。通过计算准确率、召回率、F1分数、均方误差等指标，可以全面而客观地评价算法的预测精度。这些量化结果为算法的性能优化提供了明确的方向，同时也为在不同应用场景下选择最合适的算法提供了科学的决策依据。

准确性分析的重要性在于，它不仅揭示了算法在处理实际问

题时可能存在的误差和偏差，而且对于提升算法在实际工程应用中的可靠性具有指导性作用。通过深入分析算法在不同数据集上的表现，可以针对性地调整算法参数，改进算法结构，从而提高算法在复杂多变环境中的预测能力，确保故障诊断与预测系统的有效性和实用性。

（三）算法实时性分析

算法实时性分析专注于评价故障诊断与预测算法在数据处理速度和响应时间方面的性能。在电力系统等实时性要求极高的领域，算法的实时性直接关系到故障诊断与预测的时效性，进而影响系统安全与稳定运行的能力。

实时性分析深入探讨了算法的计算复杂度、数据处理速度以及硬件资源利用效率等多个维度。一个具备高实时性的算法，应当在确保诊断与预测准确性的基础上，能够迅速完成数据解析、特征提取、模型推理及更新等环节，以适应电力系统对快速响应的严格要求。

实时性分析的目标是通过优化算法设计、简化计算流程、提高数据处理效率等措施，有效减少算法的计算延迟^[10]。这一过程不仅涉及算法理论的创新，还包括对现有算法结构的精细调整和硬件资源的合理配置。通过实时性分析，可以显著提升算法在实时应用场景中的响应速度，确保在故障发生时，系统能够及时获取诊断信息并采取相应的预防或补救措施，从而保障电力系统的连续可靠运行。实时性分析的研究成果对于推动故障诊断与预测技术在实时性敏感领域的应用具有重要的实践价值和理论意义。

五、结束语

展望未来，人工智能技术将继续在电力系统故障诊断与预测领域发挥重要作用。伴随着算法的持续优化、计算能力的增强以及大数据技术的广泛部署，有充分理由预期，基于人工智能的电力系统故障诊断与预测技术将趋于成熟，为我国电力行业的持续进步提供稳固的技术支撑。同时，应当关注新型人工智能技术与电力系统更深层次的整合，持续探索跨学科研究路径，以应对电力系统所遭遇的多样挑战，助力实现绿色、智能、高效的电力系统发展目标。在此，期待更多研究同仁加入这一领域，共同推进电力系统故障诊断与预测技术的革新与发展。

参考文献

- [1] 袁云佳. 人工智能的发展与应用综述 [J]. 科技风, 2020, (17): 25-26. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202017023.
- [2] 赵海萍, 刘晓琴, 邱昱. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [C] // 中国电机工程学会电力信息化专业委员会, 国家电网公司信息通信分公司. 2022 电力行业信息化年会论文集. 国网甘肃省电力公司数字化事业部, 2023: 4. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.053543.
- [3] 杨湛鸿. 人工智能在电力系统故障诊断中的应用 [C] // 中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集 (2). 广东电网有限责任公司湛江供电局, 2022: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.050065.
- [4] 刘虎林, 苏柏松, 刘中平. 人工智能技术在电力系统继电保护中的应用 [J]. 电气时代, 2022, (03): 44-46.
- [5] 杨子腾, 王立志, 张亮, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2021, (30): 12-14.
- [6] 郑聪, 彭庆忠, 周海峰, 等. 基于人工智能专家系统的船舶电力系统故障诊断研究 [J]. 广州航海学院学报, 2021, 29(03): 5-8+24.
- [7] 方萌, 史可敬. 对于人工智能在电力系统故障诊断中的应用及研究 [J]. 中国科技投资, 2021, (22): 63-64.
- [8] 王小东. 基于人工智能和数据挖掘的电力系统故障分类预测 [D]. 天津理工大学, 2021. DOI: 10.27360/d.cnki.gtlgy.2021.000439.
- [9] 欧阳圣睿. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势 [J]. 电气传动自动化, 2021, 43(04): 40-42+64.
- [10] 史雪涛, 孙浩南, 肖文飏, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, (07): 221-222.

国网单位供电所智能化管理的实践与思考

成先平, 陈春梅, 章燕

荆州三新供电服务有限公司, 湖北 荆州 434000

摘 要 : 本文就国网各单位供电所智能化实践进行论述并对其效果进行分析, 如提升供电可靠性、改善供电效率、强化用户服务体验以及推动电网安全运行。同时指出在实际应用过程中出现的技术、管理及资金投入与成本效益问题来有针对性的提出改进对策, 主要是技术优化、管理提升与资金保障及成本效益分析, 目的是对供电所智能化深入推进起到借鉴作用。

关 键 词 : 国网单位; 供电所; 智能化管理

Practice and Thinking on the Intelligent Management of Power Supply Stations in State Grid Units

Cheng Xianping, Chen Chunmei, Zhang Yan

Jingzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd. Jingzhou, Hubei 434000

Abstract : This discusses the practice of intelligent management of power supply stations in various units of the State Grid and analyzes its effects, such as improving power supply reliability, enhancing power supply, strengthening user service experience, and promoting the safe operation of the power grid. At the same time, it points out the problems encountered in the actual application process such as technology, management, and investment in funds and cost benefits, and proposes targeted improvement measures. These measures mainly include technological optimization, management enhancement, and financial and cost-benefit analysis. The aim is to provide a reference for the further advancement of intelligent management of power supply stations.

Keywords : state grid units; power station; intelligent management

引言

在科学技术不断进步以及电力行业蓬勃发展的今天, 智能化管理已经成为国网单位供电所在提高运营效率以及服务质量方面的一个重要发展趋势。供电所在引进先进技术与管理理念的基础上可以较好地适应电力需求的不断增长, 增强供电稳定性与可靠性从而给用户带来更好的服务。但在智能化管理实践中也遇到了一定的挑战与问题, 有待进一步研究与解决。

一、供电所智能化实践取得的成效

(一) 提高供电可靠性

智能化的管理给供电的可靠性带来明显的提高, 通过部署如分布式传感器和智能电表这样的智能监测工具, 电力供应站可以实时并准确地获得电网的运行数据。这些装置能够不间断地监控电力线路中的电流、电压和功率因数, 当检测到异常波动时马上将预警信息发送到监控中心; 同时该智能故障诊断系统采用大数据分析与人机智能算法相结合的方法对故障点进行快速定位及故障类型的判断, 如线路发生短路故障后该系统可在数秒之内准确地确定故障位置并给出相应解决方案, 极大地缩短故障排查及维修时间。另外采用远程控制技术, 运维人员不需要亲自到现场就能对一些设备进行运行调整, 从而进一步加快恢复供电, 明显提

高供电可靠性^[1]。

(二) 提升供电效率

就提高供电效率而言智能化管理取得了突出的效果。智能电力调度系统作为关键环节之一, 以电力负荷实时数据为依据并以电网运行状态为依据, 利用自动化算法对电力资源进行优化配置; 比如在用电高峰时段系统会自动优先向重要用户及关键区域配电并同时对其他地区供电量进行合理调节, 以避免局部过载造成停电事故发生从而提高整个电网运行效率。另外智能化设备自动化运行能够降低人工干预时间及错误, 比如智能开关设备可以按照预设程序自动地完成合闸和分闸等动作, 既增加了动作的精度与速度又减少了因人工操作而造成的安全风险^[2]。同时供电所通过实时分析设备运行数据能够提前预知设备故障并及时维修与养护, 从而避免因设备突然发生故障而造成停电及生产中断, 进

作者简介: 成先平 (1977.01-), 男, 本科, 湖北石首人, 中级工程师, 研究方向: 电力营销。

一步提高供电效率来确保电力供应持续稳定。

（三）增强用户服务体验

供电所的智能化管理大大提升了用户的服务体验。借助智能化的客户服务平台，用户能够在任何时间和地点查看自己的电力使用情况，这包括电量、电费账单、用电历史记录等，从而实现了电力使用信息的完全透明；比如用户在手机 APP 上就能直观的查看到日、周乃至月的用电趋势图等，以便更深入的了解其用电习惯和合理的安排用电计划。同时在线缴费功能使得用户不再需要在营业厅内排队交费，只要轻轻点击手机就可以完成缴费工作，极大地节约了用户时间与精力；并且在用户出现用电问题的情况下可通过该平台进行快速的报修工作，智能客服系统自动收到报修信息后能够及时派维修人员上门进行维修。除此之外在用户在进行检修时也可通过该平台对检修进度进行实时追踪，获知检修人员所在位置及预计抵达时间等信息，这一全程可视化服务模式使用户体验起来更方便、高效服务体验提升用户供电服务满意度与信任^[3]。

二、供电所智能化管理实践中存在的问题

（一）技术层面问题

1. 智能化设备兼容性和稳定性不足

目前供电所智能化设备的市场比较复杂，各种品牌、机型的设备满天飞。每个厂商在进行设备设计与生产时通常都会按照自己的准则进行，从而造成接口类型不一致或者通信协议不兼容等情况，如一些智能电表和集中器通信接口失配使数据传输经常中断。并且部分智能化设备的实际工作环境容易受到温度、湿度的影响使其的稳定性较差。例如一些户外智能开关设备在高温天气下易发生误动作或者死机等情况，极大地影响了供电所正常运行秩序以及电力供应可靠性。

2. 数据质量和安全性问题

在数据采集环节中有些传感器存在精度不足或者老化损坏等问题，造成采集数据精度不高，比如监测线路电流用的传感器由于精度偏差可能不能正确地反映出真实电流值。与此同时在进行数据传输时也会出现很多问题，网络信号的不稳定性会造成数据的损失，而且传输线路如果没有有效的保护措施也会受到电磁干扰的影响，从而使得数据被篡改。此外在数据安全上也面临着严重的挑战，供电所储存了海量的用户用电信息以及电网运行数据等并具有很高的价值，很容易被黑客攻击。在此基础上若数据的安全防护体系一旦存在漏洞，例如防火墙的配置不合适或者加密算法的破解等都会造成数据的泄漏，对用户的隐私以及电网的安全造成极大的威胁^[4]。

（二）管理层面问题

1. 人员对智能化管理系统的操作和应用能力不足

供电所有些职工年龄结构较高，接受新技术比较薄弱，在面对智能化管理系统中繁杂的操作界面与功能模块，他们往往会感到茫然而又束手无策。比如部分老工人对智能电力调度系统运行流程比较陌生，在负荷调整及其他运行过程中易产生误差从而影

响电网优化运行。而员工对于数据分析工具把握不一，很多人只会简单地查询与统计数据，而对运用大数据分析技术发现潜在的问题与规律却无从下手，不能充分发挥智能化管理系统在数据驱动下的决策支持作用。

2. 智能化管理与传统管理模式的融合困难

在传统管理模式中供电所工作流程较为固定、死板，比如设备运维工作多是按定期巡检、计划检修等模式来完成，该模式缺乏准确掌握设备实时运行情况。而智能化管理则强调实时监测与动态调整相结合，而在实际引入过程中由于传统工作流程惯性导致二者很难进行有效对接^[5]。同时一些员工还习惯按旧的方式进行工作，对于智能化设备所提供的实时数据以及预警信息没有给予足够的重视，使得智能化管理系统所具有的优势没有得到充分的发挥。另外传统管理模式中组织架构、职责分工等都不利于推行智能化管理，其部门间协作沟通机制不畅通，涉及跨部门智能化项目进展时易推诿扯皮，工作效率也就不高。

（三）资金投入和成本效益问题

1. 智能化建设和改造的资金投入较大

供电所智能化建设涉及到诸多方面，其所需经费巨大。一是智能化设备购置费用高，比如一个高级智能变电站监测系统动辄几百万的设备价格；并且安装调试这类装置还需专业技术人员，其安装工艺流程繁杂，费用就进一步提高。二是供电所为适配智能化设备及系统运行必须进行基础设施改造与提升，例如通信网络扩容与优化、机房环境改善等等这些均需大量的资金投入；同时对部分地理位置偏僻、经济欠发达地区供电所而言，经费筹措困难，都很难负担这么高的智能化建设成本。三是智能化设备更新换代也较为迅速，供电所要想保持技术先进性与系统稳定性就必须不断地资金投入及设备维护与更新工作中，对其经济造成持续压力。

2. 成本效益评估体系不完善

当前供电所智能化管理中成本效益评价缺乏一个科学综合的系统，就成本核算而言通常注重设备采购与安装等直接费用而忽略设备运行维护中能耗费用、人力费用、设备故障造成停电损失及其他间接费用。以智能电表推广使用为例，采购成本虽已核算完毕，但是对电表工作时通信费用、电池更换费用及电表故障引起的人工抄表及纠纷处理费用并没有综合统计；并且就效益评估而言还存在着指标简单、量化不够精确等问题。与此同时成本效益一般仅关注于供电可靠性提高所造成的少停电损失这一单纯指标，针对智能化管理中优化电网运行和提高能源利用效率等问题、提高用户满意度及其他所产生的综合效益都缺乏一套系统的评价方法与量化模型^[6]。这使供电所在智能化建设项目中很难精确地测量出其真实价值，不能对后续投资决策提供强有力的依据同时还易造成资源浪费与不合理配置。

三、改进供电所智能化管理的对策建议

（一）技术优化措施

1. 加强智能化设备的标准化建设

建立一个全面详细的智能化设备标准规范是关键，通过对设

备各种技术细节进行了明确的规定，比如接口标准的统一标准等以保证不同牌号的设备能够实现无缝连接；规范通信协议能够确保数据传输稳定和精确。与此同时要加大市场监管来严格控制不合格产品，供电所对设备采购环节进行严格把控，按照规范对产品进行甄别从而提升了设备兼容性与稳定性，降低了由于设备不同而造成系统运行中出现问题，进而为智能化管理系统高效运转打下坚实的基础。

2. 提升数据质量管理和网络安全防护能力

构建覆盖数据全生命周期质量管理体系能够提升数据质量管理和网络安全防护能力。在数据采集端使用高精度可靠采集设备及技术保证数据源头准确，在传输时采用加密技术来阻止数据的被盗用或者篡改，同时设置备份机制来处理突发情况。同时在储存方面，合理分类来安全储存，并且要部署高级防火墙来屏蔽要部攻击并装备入侵检测系统以实时监控异常行为和加关键数据。在此基础上还要定期组织员工参加网络安全培训、应急演练等来全面提高安全防范意识与应急处置能力^[7]。

(二) 管理提升策略

1. 完善人员培训和激励机制

设计具有针对性的培训课程体系至关重要，以智能化设备运行行为目标，对员工进行实地运行培训能够使员工熟悉设备各功能及运行过程。在数据分析方面，教授数据分析方法和工具的使用能使其能从海量数据中挖掘有价值信息；同时构建多元化激励机制来建立专项奖励基金对智能化管理工作成绩突出的人员或队伍进行物质奖励。除此之外在职业发展方面，对主动参与智能化管理并取得突出成绩的员工给予晋升机会，以便能够调动员工的学习热情与工作热情来促进智能化管理的进一步发展。

2. 推进智能化管理与传统管理模式的深度融合

全面梳理并优化传统管理模式能够推进智能化管理与传统管理模式的深度融合。对工作流程进行重新安排能够确定各个环节对智能化管理提出的新需求及责任；以设备运维管理为例，将传统巡检实际经验和智能化监测实时数据相结合来制定出更加科学的巡检计划^[8]。与此同时要成立跨部门协作小组加强各部门之间沟通与协调，破除部门壁垒，通过对智能化管理优势的宣传和普及，如举办经验分享会等活动来使员工深刻认识到它的重要意义

并逐渐改变观念，主动适应全新管理模式，将传统管理和智能化管理有机结合起来，以便能够提高整体管理效能。

(三) 资金保障和成本效益分析

1. 多渠道筹集智能化建设资金

积极寻求上级部门专项投入，对供电所智能化建设方案及预期效益进行了详细说明并将该工程列入国网单位重点投入范围十分重要^[9]。同地方政府密切合作能够积极参加政府有关能源发展项目并获得政策支持、财政补贴，如参加智慧城市建设智能电网项目并获得配套资金等。同时扩大金融合作渠道、征求银行和其他金融机构对优惠项目融资方案的意见、降低融资成本；也可吸引社会资本通过合作经营和 PPP 模式引进外部资金共同促进供电所的智能化建设以减轻资金紧张。

2. 建立科学的成本效益评估体系

改进供电所智能化管理需构建成本效益综合评价指标体系，成本指标应该细分成各具体的项目，例如设备采购成本应该综合考虑设备价格、运输费用和安装调试费用；运行维护成本主要由设备维修费用、能耗费用和人员维护成本构成。在评估效益指标时需要全面考虑多个方面的因素，包括由于提高供电可靠性而减少的停电损失所带来的经济效益，并通过提高供电效率而节省的能源成本，以及用户满意度增加所带来的社会效益等。同时通过采用成本效益分析法、投资回报率分析法及其他科学评估方法能够定期对智能化建设项目评估比较分析，从而为项目提供精确的决策依据，在强化成本控制和优化资源配置的前提下最大限度地发挥项目效益^[10]。

四、结语

国网各单位供电所智能化管理在电力行业中是必然的趋势，经过实践效果显著但是存在着亟待解决的问题。通过强化技术优化、管理提升及资金保障与成本效益分析能够有效提升供电所智能化管理并且提升供电所运营效率与服务质量，从而为电力行业可持续发展提供强有力的支撑。所以供电所在今后的发展过程中要不断探索与创新使其智能化管理水平提高，才能更好的适应社会用电需求。

参考文献

[1] 刘强, 樊鹏辉, 赵文龙. “国网芯”电子标签在实体档案智能化管理中的探索与应用 [C] // 中国电力企业管理创新实践 (2022 年). 北京: 智慧微电子科技有限公司, 2024: 4.

[2] 李丛, 戴聪聪, 冯阳. 一种城市地下排水管网智能化管理与维护方案 [J]. 城市勘测, 2023, (S1): 185-187.

[3] 王芮, 张锦, 徐卫锋, 等. 以提高配电自动化覆盖率为导向的配网智能化管理研究 [J]. 电工电气, 2023, (11): 65-69.

[4] 李明林, 高明. 电网工程物资供应管理体系构建 [J]. 中国电力企业管理, 2023, (24): 40-41.

[5] 李巍, 连莎莎. 基于新技术应用的评标基地智能化管理研究——评《现代智慧供应链创新与实践》[J]. 应用化工, 2023, 52(07): 2268.

[6] 寿祝义, 张军达. 基于物联网技术的电力配网智能化管理系统研究 [J]. 大众用电, 2023, 38(06): 60-61.

[7] 杨建伟, 李宏, 彭恋涵, 等. 供电企业以降低合规风险为导向的印章全生命周期“智能化”管理 [J]. 企业家, 2022, (S1): 393-395.

[8] 郭琰, 朱向阳. 互感器管理智能化实践 [J]. 中国电力企业管理, 2022, (32): 29.

[9] 徐皓, 林妮娜. 国网江苏电力项目管理智能化建设实践 [J]. 财务与会计, 2022, (15): 67-68.

[10] 陈凯程. QZ 供电公司变电站设备管理智能化研究 [D]. 华侨大学, 2021.

电力现货市场下火电运营管理破局与创新实践

张宗兴，逢强

国能（山东）综合能源服务有限公司，山东 济南 250000

摘 要： 本文旨在研究在山东电力现货市场下实施火电企业运营管理的创新实践，分析其在企业总体效益、市场响应、风险管控及节能降碳等方面的作用，阐明其在新形势下火电企业现代化管理及应对电力市场改革的价值。

关 键 词： 企业运营；效益；节能；电力市场改革

Breakthrough and Innovative Practice of Thermal Power Operation Management in the Spot Electricity Market

Zhang Zongxing, Pang Qiang

Guoneng (Shandong) Comprehensive Energy Service Co., Ltd. Jinan, Shandong 250000

Abstract： This article aims to study the innovative practice of implementing operation and management of thermal power enterprises in the spot market of Shandong Electric Power, analyze its role in overall enterprise benefits, market response, risk control, energy conservation and carbon reduction, and clarify its value in modern management of thermal power enterprises and response to electricity market reform under the new situation.

Keywords： enterprise operation; efficiency; energy conservation; electricity market reform

引言

电力现货市场泛指日前及更短时间内的电能量交易的市场^[1]。目前，我国电力现货市场建设加快推进，火电企业正经历从电量单一收益向电量、容量与调节价值复合收益的转变。为此，火电企业亟需创新运营管理模式，整合机组成本、健康状况及调节性能等诸多要素，科学制定电力现货市场报价策略，以适应市场规则，追求总体效益最大化，确保在日益激烈的市场竞争中提高核心竞争力。

一、选题背景

（一）山东省电力市场的基本特点

山东省电力现货市场采用集中式市场模式，以中长期规避风险、以现货发现价格的指导思想，设计电力现货市场下市场交易体系^[2]。从发电装机结构看，截至2023年底，山东发电装机容量2.12亿千瓦。其中，火电装机1.18亿千瓦、占比55.78%；光伏发电装机5693万千瓦、占比26.91%，排名全国首位；风力发电装机2591万千瓦、占比12.25%^[3]。因新能源发电的间歇性、波动性和不确定性特点，决定了现货市场分时电价差别较大。在光伏、风电大发时段，现货市场价格经常在负价格波动，而在光伏、风力发电出力较低时，则价格较高^[4]。2023年“五一”期间山东电力现货市场出现的长时间负电价，反映了整体上供大于求的关系，是新能源消纳需求对市场价格影响的体现^[5]。

（二）国家能源集团山东公司基本情况

目前，山东公司共有火电机组22台，发电装机容量1020万千瓦。

装机容量不同，发电煤耗不同，基本呈现从装机从大到小依次递增趋势。同时，各机组调节性能也各不相同，这与机组是否实施灵活性、调频等技术改造相关。部分机组调节能力和调频性能详见下表。

表1 山东公司部分机组调节能力和调频性能

序号	机组编号	装机容量 (MW)	发电煤耗 (g/kwh)	深调能力 (%)	调频性能 (K值)
1	寿光 #1	1010	283	29.32	3.01
2	寿光 #2	1010	289	29.46	3.35
3	聊城 #3	600	292	29.35	3.25
4	聊城 #4	600	293	45	2.98
5	菏泽 #5	330	296	29.75	3.58
6	菏泽 #6	330	297	29.86	3.44
7	菏泽 #3	300	312	56.67	2.01
8	菏泽 #4	300	315	56.67	2.23

二、火电企业运营管理的分析研究

（一）非现货模式与现货模式火电运营模式变化

非现货时期，火电运营依赖于政府指令与合同约定，年度发电量计划由政府主导分配并通过市场化交易补充^[6]。山东电力交易及调控中心按计划逐级分解，最终形成每日固定的发电调度指令。电价恒定，企业关注点在于争取更多计划电量与市场交易份额，以及控制成本以提升利润。

在现货市场模式下，火电企业运营转变为市场导向，取消了政府优先发电量计划，机组运行完全根据现货市场日前报价决定，电价随供需实时波动^[7]。此时，企业不仅要关注成本控制，更要依据机组健康状况和调节能力灵活制定发电策略，力求在电价高位时段多发电，低位时减少或停止发电，以实现利润最大化和市场适应性最强的运营模式^[8]。

（二）运营管理创新的必要性分析

观察两种模式下火电企业运营模式的演变，可见在电力现货市场机制下，火电企业的盈利能力与其运营成本、机组健康状况以及调节性能之间存在着紧密关联^[9]。倘若各电厂在现货市场中依然维持原有运营模式，将不可避免地面临如下几方面问题：

1. 发电策略误区导致效益流失。在现货市场环境，部分电厂仍沿用传统的发电量为导向的思维模式，倾向于追求发电总量而不顾及电力的分时价值。这种做法可能导致火电机组发出大量无效益甚至负效益的电能，特别是在市场需求低迷、市场价格较低的时段依然维持高发电量。更为关键的是，这种片面追求发电量的做法会占用山东公司内部其他成本更低、性能更优机组的发电空间，从而抑制了整个公司的经济效益最大化。

2. 生产经营受限于信息不对称。部分电厂由于信息渠道的局限性，缺乏对竞争对手策略及市场动态的全面洞察。这种信息壁垒导致企业在决策时陷入被动，如在适宜出售电能时因不知市场供需情况而错过高价时段，或在低需求时段因不了解竞争对手的运行状态而无法合理安排停机，造成了资源的浪费和经济效益的损失。

3. 加剧交易合规风险。在瞬息万变的电力现货市场中，每日高频次的交易对决策效率提出了极高要求。然而，当前传统电厂普遍存在决策效率不高问题，无法迅速响应市场变化，制定并执行精准的报价策略。这种决策滞后和效率低下不仅导致错失交易良机，更重要的是，由于决策过程无法紧跟市场规则及政策变动，极易触碰合规边界，增加违反市场规则的风险。

4. 交易专业人才短缺成为瓶颈。我国电力现货市场尚处于初级阶段，相关的专业交易人才培育和储备尚未达到理想水平。基层电厂在这一领域的人才短缺问题尤为突出，这对企业在瞬息万变的电力现货市场竞争中形成了显著的短板。缺乏拥有丰富市场经验和深厚专业知识的交易人员，使得电厂在制定交易策略、应对市场波动、控制交易风险等方面能力受限，进一步加大了企业参与市场竞争的经营风险^[10]。

基于上述分析，可以得出结论：现行的火电企业原有运营方式已无法适应当今电力现货市场的复杂需求。创新运营管理体系成为了适应市场变革的必然选择。这一举措能够实现电力交易全过程的精细化、制度化管理，通过整合发电机组各项关键参数，迅速捕捉并利用市场交易窗口，有效降低决策失误带来的风险，提升决策效能。

（三）运营管理创新效果分析

山东公司通过一系列战略性举措深化运营管理改革，成立交易运营中心，指导各基层电厂参与市场交易，优化经济考核体系，注重人才梯队培养，实施数智化战略转型，建设电力现货辅助决策系统，打通营销与生产协同的“最后一公里”，有力驱动了企业在现货市场中灵活应变与高效协作，在多个方面显著提升经济效益。具体表现在以下几点：

1. 总体经济效益提升。在新型运营体系指导下，企业对实时电价信号的响应速度和策略制定的准确性显著提高，在电力现货市场中实现了发电收益的增加，整体经济效益得到了全面提升。2023年，山东公司综合售电单价超额完成集团任务目标，较基准电价上浮26个百分点。

2. 辅助服务收益显著增长。依托精准的数据分析和决策支持，积极引导机组参与辅助服务，调频性能优的机组优先申报，有效地将机组调节性能转化为经济效益。2023年，山东公司调频辅助服务净收入超2.3亿元，提高综合电价5.53元/兆瓦时。

3. 深调收益增加。通过在经济考核体系中增设机组最大、最小出力申报考核，优化机组负荷调整，精确匹配电网调峰填谷需求，降低了无效发电和资源浪费，实现了深调收益的快速增长。2023年实现深调增收超1.2亿元，提高综合电价3.04元/兆瓦时。

4. 风险管理与合规运营。制定了电力现货模式下发电主体交易管理办法，规范现货交易过程管理。强化机组异常情况损失考核，有效降低了异常情况所带来的经济损失。2023年，增加容量电费收益1.6亿元，提高综合电价4.03元/兆瓦时。

5. 数智化转型赋能。建设电力现货辅助决策系统，借助先进的数据分析算法，实时抓取、处理市场信息，生成精确负荷预测模型和针对性指导方案。通过对历史数据的深度学习和对未来市场走势的精准预测，指导中长期合约的合理分配和执行，确保了机组中长期合约电量与市场需求高度匹配，最大程度地降低市场风险，提升交易效率，实现从被动响应向主动布局的战略转变。

6. 环保与社会责任的共融实践。通过运营管理创新，指导大容量低能耗机组严格按照边际成本报价，积极践行环保责任，提升能源使用效率。2023年，通过科学合理的策略指导，寿光公司#1机组作为煤耗最优机组，实现发电5910小时的高水平利用效率，比煤耗高的菏泽#4机组高出3328小时，有力地支持了企业碳排放削减目标的实现。各火电机组坚持节能降碳减排的社会责任观，将其融入到日常运营和决策中，展现了在电力现货市场模式下，实现经济效益与环保责任的有机统一和高效践行。

三、结语

鉴于电力现货市场下火电企业运营管理创新实践的成功，建

议进一步优化推广。展望未来，火电企业将在不断深化管理创新的实践中，积极响应能源结构变革新要求，为构建更高效、绿色、智能的能源体系贡献力量。

参考文献

[1] 国家电力调度控制中心. 电力现货市场101问 [M]. 中国电力出版社, 2021.

[2] 王勇, 游大宁, 房光华, 张国强, 王进, 匡洪辉. 山东电力现货市场机制设计与试运行分析 [J]. 中国电力, 2020, 53(09): 38-46.

[3] 山东电力交易中心, 山东电网2023年度暨四季度电力市场交易信息报告 [R]. 济南: 山东电力交易中心, 2023.

[4] 由希江. 电力现货改革对火电企业的影响: 以山东国华寿光电厂为例 [J]. 能源, 2020(11): 88-91.

[5] 关立, 周蕾, 刘秉祺等. 山东电力现货市场“五一”假期长时间负电价现象分析及启示 [J/OL]. 电力系统自动化: 1-7.

[6] 王小昂, 邹鹏, 任远, 等. 山西电力现货市场中长期与现货衔接问题及对策 [J]. 电网技术, 2022, 46(1): 20-27.

[7] 程道同, 朱光明. 煤电企业在电力现货市场的交易策略研究 [J]. 湖南电力, 2020, 40(4): 55-58.

[8] 刘刚. 积极推进电力现货市场建设 [J]. 中国电业, 2018(12): 24-26.

[9] 林哲敏, 季超, 钱寒晗, 等. 电力现货市场机组成本补偿机制分析 [J]. 科技和产业, 2021.21(5): 146-151.

[10] 王蕾. 火电企业应对电力现货市场的策略研究 [J]. 电力学报, 2021.36(6): 557-563.

发电厂电气设备运行管理措施分析

姜晓红

国能吉林龙华热电股份有限公司长春热电一厂, 吉林 长春 130114

摘 要： 随着电力工业的快速发展, 发电厂电气设备的安全稳定运行对保障电力系统可靠供电具有重要意义。本文以发电厂电气设备运行管理为研究对象, 深入分析了当前电气设备运行管理中存在的主要问题, 包括设备维护制度执行不利、专业技术人员配备不足、预防性试验执行不到位等。针对这些问题, 文章提出了优化电气设备运行管理的具体措施: 健全设备检修维护制度, 完善运行管理规程; 加强运行人员专业技能培训, 提高故障处理能力; 推进设备状态监测系统建设, 实现预测性维护; 构建设备运行档案管理平台, 强化信息化管理水平。研究表明, 科学的运行管理措施能有效提升电气设备运行可靠性, 对确保发电厂安全经济运行具有重要的实践指导意义。

关 键 词： 发电厂; 电气设备; 运行管理; 措施分析

Analysis of Operation Management Measures of Power Plant

Jiang Xiaohong

Jilin Longhua Thermal Power Co., LTD. Changchun Thermal Power Plant No. 1, Changchun, Jilin 130114

Abstract： With the rapid development of electric power industry, the safe and stable operation of electrical equipment in power plant is of great significance to ensure the reliable power supply of power system. This paper takes the operation management of electrical equipment in power plant as the research object, and deeply analyzes the main problems in the operation management of electrical equipment, including adverse implementation of equipment maintenance system, insufficient allocation of professional and technical personnel, and inadequate implementation of preventive tests. In view of these problems, the paper proposes specific measures to optimize the operation management of electrical equipment: improve the equipment maintenance system and improve the operation management procedures; strengthen the professional skills training of operation personnel, improve the fault handling ability; promote the construction of equipment status monitoring system, realize the predictive maintenance; build the equipment operation file management platform, and strengthen the level of information management. The research shows that scientific operation management measures can effectively improve the operation reliability of electrical equipment, and has important practical guiding significance to ensure the safe and economic operation of power plants.

Keywords： power plant; electrical equipment; operation management; measure analysis

引言

电力工业是国民经济发展的重要支柱产业, 发电厂作为电力生产的源头, 其安全稳定运行直接关系到电力系统的可靠供应。电气设备是发电厂的核心设施, 其运行状态直接影响发电效率和供电质量。近年来, 随着发电装机容量的不断增长和设备技术的日益复杂, 电气设备运行管理面临着新的挑战。如何通过科学的管理措施提高设备运行可靠性, 降低故障发生率, 已成为发电企业亟需解决的重要课题。目前, 国内外学者对电气设备运行管理进行了广泛研究, 取得了一定成果。但在实际运行中仍存在管理制度执行不利、维护效率低下、技术人员素质参差不齐等问题。本文通过分析某发电厂电气设备运行管理现状, 结合实际运行经验, 探讨提升电气设备运行管理水平的有效措施, 以期发电企业提供可借鉴的管理方案。^[1]

一、发电厂电气设备运行管理措施分析的意义

发电厂电气设备运行管理措施的分析和实施, 对保障安全生产、提高系统可靠性、促进企业发展具有重要的现实意义。通过不断总结经验, 创新管理方法, 能够实现电气设备的安全、经济、可靠运行, 为电力工业的健康发展提供有力支撑。

作者简介: 姜晓红 (1973.03-), 女, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 电力工程技术。

(一) 确保发电厂安全生产和经济运行

发电厂电气设备运行管理对确保安全生产具有重要意义。以主变压器为例, 通过建立完善的运行管理制度, 包括定期开展绝缘油试验、局部放电检测和红外测温巡视检查, 可及时发现设备潜在故障。某火力发电厂通过实施“设备定人定责”制度, 对每台主变压器指定专人负责日常巡检和状态监测, 建立了设备运行

状态数据库，实现了故障预警。结果显示，该电厂主变压器年故障率从1.2%降至0.3%，避免了重大设备事故的发生。^[2]此外，科学的管理措施能有效延长设备使用寿命，降低维修成本，提高经济效益。

（二）提高电力系统运行可靠性

完善的电气设备运行管理措施是保障电力系统稳定运行的基础。以发电机组为例，某水电站采用了基于大数据分析的设备状态评估系统，对发电机定子绕组温度、轴承振动等关键参数进行实时监测和趋势分析。通过建立设备健康管理平台，实现了由传统的计划检修向状态检修的转变。同时，制定了标准化的操作规程和应急预案，通过操作培训和应急演练，提高了运行人员的操作及故障处理能力。这些措施使该电站的发电机组可利用率提升至96.8%，显著增强了电网供电可靠性。^[3]

（三）促进发电企业技术创新和管理升级

科学的运行管理措施分析有助于推动发电企业技术进步和管理水平提升。以智能化运维为例，某核电厂引入了基于物联网技术的设备在线监测系统，对高压开关柜、变压器等关键设备实施智能化管理。通过这些创新性措施，该核电厂年度设备检修计划完成率达到99%，检修质量合格率达到100%，运行人员劳动效率提升30%。^[4]同时，这些管理经验的总结和推广，促进了行业技术标准的完善和管理模式的创新。此外，先进的管理措施还推动了运行人员队伍建设。某火电厂建立了分层次的培训体系，包括理论培训、仿真机操作和现场实践，并开展技能竞赛和经验交流活动。通过“导师带徒”制度，加快了新员工成长，培养了一批专业技术骨干。这些措施不仅提升了员工素质，也为企业持续发展储备了人才。

二、当前发电厂电气设备运行管理所存在的问题

（一）设备管理制度较完善，执行力度不足

当前，许多发电厂在电气设备管理制度方面制定的较完善。以某火力发电厂为例，虽然制定了设备巡检制度，但设备巡检制度流于形式，部分运行人员巡检敷衍了事，未能及时发现设备异常。该厂在2023年因未能及时发现10kV开关柜触头发热问题，导致设备跳闸事故。^[5]同时，预防性试验计划执行不到位，部分试验项目推迟或取消，如主变压器的局部放电测试由原定半年一次改为一年一次，降低了故障预警能力。如低压配电柜的清扫工作经常被延误，造成柜内积尘严重，增加了设备故障风险。

（二）专业技术人员培养不足，操作水平有待提高

人员素质问题是影响设备运行管理的重要因素。某水电站在运行人员管理方面存在严重问题，主要表现在专业技术人员配备不足，特别是具有高级职称的工程师较少，该电站具有高级职称的电气专业人员仅占技术人员总数的8%。培训体系不完善，培训内容与实际工作需求脱节，如对新型数字化设备的操作培训不足，导致部分员工无法熟练使用智能化监测系统。技术传承机制缺乏，该电站近五年退休的资深技术人员达到15人，但未建立有效的经验传承机制，老员工的宝贵经验难以有效传授给新员工。^[6]

（三）设备状态监测手段落后，信息化管理水平低

设备监测和信息管理的滞后严重制约了运行管理效率的提升。某核电厂的设备状态监测仍以传统人工方式为主，缺乏先进的在线监测系统。对于重要的电气设备如发电机定子绕组，仍主要依靠定期测温来判断运行状态，无法实现实时监测和预警。设备管理信息系统功能单一，数据分析能力弱，虽然建立了基础的设备管理系统，但无法实现设备健康状态评估和故障预测等高级功能。大量可运行的设备运行数据未能及时分析处理，档案管理仍以纸质文档为主，无法为管理决策提供支持。2023年该厂一台变压器发生故障，事后分析发现在故障前数月已经出现异常数据，但由于缺乏数据分析手段而未能及时发现。^[7]

三、发电厂电气设备运行管理措施的有效策略

为确保发电厂电气设备的高效稳定运行，有效提高其运行管理水平，需要针对前述存在的问题，从制度、人员、技术三个方面提出科学合理的管理措施。这些措施不仅能提高电气设备的运行效率，还能大幅降低故障率，保证发电厂的经济效益和安全生产。以下是具体的策略和实施方案。

（一）完善管理制度，强化执行力

设备的检修维护制度是确保电气设备安全、可靠运行的基础。针对设备巡检制度执行不利的现状，发电厂应进一步完善管理制度，并确保有效实施。具体措施包括设立“设备巡检与维护定人定责”制度，针对每一项设备的关键部位，如发电机定子、变压器绝缘油等，制定详细的巡检计划和检修内容。某火电厂实施了这项制度后，将每个关键设备划分到指定的责任人，负责日常巡检和状态记录，并定期向管理层汇报运行状态，大幅减少了设备故障发生率。

预防性试验是设备故障提前预警的重要手段。由于部分设备试验计划执行不到位，发电厂应强化预防性试验管理，严格落实每项试验内容及频次。可以制定详细的预防性试验周期表，并与第三方检测机构合作，确保试验结果的准确性。例如，某核电厂通过引入第三方检测公司，对变压器局部放电和高压开关柜的接触电阻进行专项检测，大大增强了故障预测能力，有效避免了设备意外停机。

设备档案的数字化管理能为运行分析和决策提供数据支持。发电厂可以建立设备运行档案管理平台，将每台设备的运行数据、检修记录、故障记录等归档管理。某水电站通过引入设备运行档案管理平台，实现了设备历史数据的在线调阅和分析，为管理决策提供了精准依据。通过大数据分析，该电站对高频故障设备进行了专项维护，将设备停机时间缩短了30%。^[8]

（二）提升人员素质，加强技术培训

操作人员的技能水平直接影响电气设备的运行管理质量。发电厂应推动分层次的技能培训，结合理论和实操，开展有针对性的课程培训，定期进行仿真机培训。例如，某核电厂建立了完整的技能培训体系，包括“初级—中级—高级”三级培训，涵盖设备的日常操作、故障分析、应急处理等方面的内容。此外，该

厂定期开展模拟事故演练，以提高员工应对突发故障和事故的能力。通过这种分层培训，新员工的上岗时间缩短了20%，整体技能水平得到了显著提升。

技术传承机制是维持团队技术水平的重要手段。为保障核心技术人员的经验得以传承，发电厂可以实施“导师带徒”计划，由资深技术人员指导新员工。某火电厂通过这种机制，使新员工能够快速掌握关键设备的操作要领，并及时解决巡检中发现的问题。这项措施还包括定期经验交流和总结，有助于巩固知识传承，减少经验流失。

随着发电厂设备的数字化、智能化程度逐步提升，发电厂应针对新设备和新技术开展专项培训。例如，某水电站引进了智能化监测系统后，组织全体操作人员进行了多轮培训，确保每位员工都能熟练操作设备，实现了故障预警和检修效率的提升。通过加强专项培训，操作人员能更好地适应智能化设备的操作要求，显著提高了设备运行管理的科学性。

（三）应用先进技术，推进智能化管理

设备的在线监测系统可以实时监控关键设备的运行状态，帮助运维人员及时发现潜在故障。某水电站在发电机、变压器等核心设备上安装了在线监测装置，实现了设备温度、振动等参数的实时采集。该系统还能自动分析设备运行趋势，为管理层提供预测性维护建议，极大地降低了因故障导致的停机时间。实践证明，通过这种方式，该水电站的设备故障率降低了15%。^[9]

设备的数字化管理有助于全面提升运行管理效率。发电厂可以引入集成化的设备管理信息系统，确保设备档案、维护记录、检修计划等数据的实时录入和共享。例如，某火电厂利用设备管理信息系统，实时记录每台设备的运行、检修和故障数据，系统能自动生成月度、季度的设备健康报告，为检修计划提供数据支持。此外，利用数据分析和可视化功能，管理人员可以快速查看

设备的运行趋势，便于及时调整管理策略。

物联网技术的应用使设备运维管理逐步走向智能化。发电厂可以在变电站、主变压器、高压开关柜等设备上应用智能传感器，利用大数据技术实现自动化监测。例如，某核电厂引入了基于物联网的设备监测系统，能自动采集并上传设备的温度、电压、电流等关键数据，通过云平台进行数据分析，管理人员可远程监控设备状态，及时安排检修。这种智能化的管理方式使该核电厂的设备运行维护成本降低了20%。

发电厂电气设备的高效运行管理是保障电力系统稳定的重要环节。通过完善管理制度、强化人员技能和引入先进技术，发电厂可显著提升设备的运行管理水平。本文结合具体案例，提出了设备巡检维护、人员培训、智能化管理等多方面的管理措施。实践证明，这些措施能有效延长设备使用寿命，降低故障率，提高经济效益。未来，随着科技的不断进步，发电厂电气设备的运行管理还应进一步向自动化和智能化方向发展，为电力系统的高效运行提供有力保障。^[10]

四、结论

综上所述，发电厂电气设备的安全稳定运行对于保障电力系统的可靠供电具有关键意义。然而，目前在设备管理制度执行不利、专业技术人员培养不足、设备状态监测手段落后等方面仍存在一些问题，直接影响了电气设备的运行可靠性和管理效率。通过全方位的管理措施优化，发电厂不仅能确保电气设备的安全可靠运行，降低故障发生率，还可以提高电力系统的供电质量，增强企业的经济效益，为电力工业的健康发展注入新的动力。未来，发电厂的电气设备运行管理还应与时俱进，向更加智能化和自动化的方向发展，为电力行业转型升级提供有力支撑。

参考文献

[1]王杨. 发电厂电气设备运行管理措施分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04):265-267.
[2]王玲. 浅析发电厂电气设备的运行管理及维护措施 [J]. 中国设备工程, 2023, (22):57-59.
[3]李林, 王莹, 罗雨航, 等. 发电厂电气设备的运行管理措施分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(07):190-191.
[4]陈璇. 发电厂电气设备安全运行管理措施 [J]. 山东工业技术, 2018, (20):211.
[5]郭增辉. 火力发电厂电气设备安全运行管理与维护措施探究 [J]. 中国设备工程, 2017, (18):28-29.
[6]任鹏. 发电厂电气设备安全的运行管理及维护分析 [J]. 设备管理与维修, 2017, (12):16-17.
[7]周锦. 发电厂电气设备检修的技术要点研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (19):180-182.
[8]李雪莲. 发电厂电气设备运行效率提升策略研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (03):229-231.
[9]莫克德. 发电厂电气设备安装与调试中的故障问题及措施 [J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(01):92-94+97.
[10]王玲. 浅析发电厂电气设备的运行管理及维护措施 [J]. 中国设备工程, 2023, (22):57-59.

国网单位用电检查现状与问题分析

刘红, 肖阳波, 张功华

国网湖北省电力有限公司潜江市供电公司广华供电所, 湖北 潜江 433124

摘要：随着我国经济的快速发展, 电力需求量逐年增加, 电力供应安全稳定成为国家能源战略的重要组成部分。而国网单位作为我国最大的电力公司, 需要承担着保障电力供应的重要职责。针对于此本文首先分析了国网单位用电检查的现状, 并针对当前国网单位用电检查中遇到的阻碍提出了相应的优化策略。期望通过加大法律法规宣传与执行力度、完善相应的管理体系与引入数字化技术等策略, 为国网单位的用电检查优化做出贡献。

关键词：国网单位; 用电检查现状; 用电检查问题

Analysis of the Current Situation and Problems of Power Inspection of State Grid Units

Liu Hong, Xiao Yangbo, Zhang Gonghua

Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Qianjiang City Power Supply Company, Guanghua Power Supply Office, Qianjiang, Hubei 433124

Abstract： With the rapid development of China's economy, the demand for electricity has been increasing year by year, and the safety stability of power supply have become an important part of the national energy strategy. As the largest power company in China, State Grid units bear the important responsibility of ensuring supply. In view of this, this paper first analyzes the current situation of power inspection of State Grid units, and then proposes corresponding optimization strategies for the obstacles encountered the current power inspection of State Grid units. It is expected that by enhancing the publicity and implementation of laws and regulations, improving the management system and introducing digital, contributions can be made to the optimization of power inspection of State Grid units.

Keywords： state grid units; current situation of power inspection; problems in power

引言

在当前的能源结构转型和电力市场化改革的大背景下, 国网单位的用电检查工作面临着前所未有的挑战与机遇。一方面随着新能源的快速发展和分布式能源的广泛应用, 电力系统的复杂性日益增加, 这对用电检查工作提出了更高的要求。而在另一方面, 随着信息化技术的不断进步, 用电检查工作也迎来了数字化、智能化的转型机遇。然而当前国网单位在用电检查方面仍存在一些问题和不足, 这些问题不仅影响了电力供应的安全性和稳定性, 也制约了国网单位服务质量的提升。

一、国网单位用电检查的现状

(一) 用电检查的组织结构

现在国网单位的用电检查工作通常由专门的用电检查部门负责, 该部门在组织结构上通常分为几个层级, 以确保检查工作的有效性和全面性。在省级公司层面往往设有用电检查中心, 负责统筹全省的用电检查工作, 通过制定详细的检查计划并分析检查结果, 来对下级单位进行业务指导。而在地市级公司层面往往设有用电检查所, 具体的工作是执行检查任务, 负责本地区的用电安全、电能质量、计量准确性等方面的检查工作。县级公司则设有用电检查站, 直接面对用户, 进行日常的用电检查和问题处

理。在组织结构上用电检查部门通常设有技术、管理、客户服务等不同的岗位, 每个岗位都有明确的职责和 workflows。技术岗位负责检查设备的运行状况, 评估用电安全风险, 管理岗位负责检查工作的计划和调度, 客户服务岗位则负责与用户的沟通和问题解答^[1]。

(二) 用电检查的流程与方法

用电检查是确保电网安全稳定运行的重要环节, 在进行过程中的流程与方法科学性、规范性直接关系到检查效果。目前我国的国网单位的在用电检查流程首先是前期准备阶段, 该阶段包括收集被检查单位的基本信息、历史用电数据、以往检查记录等, 来进一步为现场检查做好充分准备。其次现场检查阶段, 检

查人员会依据既定的检查项目和标准，对用户的计量装置、用电设备、安全保护装置等进行细致的检查，确保设备运行正常，无安全隐患。而检查人员在检查过程中会使用各种专业工具和仪器，如电能表测试仪、红外测温仪、钳形电流表等对用电设备进行精确测量和诊断。检查结束后检查人员会将发现的问题和隐患进行详细记录，并向用户反馈检查结果，提出整改建议^[2]。

（三）用电检查的技术手段

随着科技的不断进步之下，使得在当前国网单位用电检查方面也采用了多种先进的技术手段，以提高检查的效率和准确性。例如利用远程监控系统，国家电网单位在检查中可以实时监测电网的运行状态和用户的用电情况，及时发现异常波动或违规用电行为。此外智能巡检机器人也被广泛应用于高压变电站和输电线路的巡检工作，这些机器人能够自主导航对设备进行视觉检查，并通过搭载的传感器收集数据，大大减少了人工巡检的工作量和风险^[3]。

（四）用电检查的法律法规依据

用电检查工作必须严格遵守国家相关法律法规，确保检查活动的合法性。例如2019年国家能源局发布的《关于进一步加强用电检查管理工作的通知》中，明确要求各级电网企业加强用电检查工作，提升用电检查的规范化、专业化水平。该通知强调了用电检查工作的重要性，并对检查人员的培训、检查设备的配备、检查流程的规范等方面提出了具体要求，以确保用电检查工作的质量和效率。通过这些政策文件的实施，用电检查工作得以在法律框架内有效开展，保障了电力市场的健康发展。

二、国网单位用电检查存在的问题分析

（一）人员专业技能不均

在当前的国网单位工作人员用电检查中，人员专业素养与技能不均是一个问题。尽管国网单位已经采取了多项措施来提升员工的专业技能，但不同地区、不同部门之间仍存在明显的差异。这种不平衡具体在工作中的体现为，存在一些资深员工虽然拥有丰富的现场经验，但对新技术和新设备的掌握程度不足，导致在面对复杂问题时难以迅速找到解决方案。而一些新进员工虽然理论知识扎实，但缺乏实际操作经验，难以独立完成复杂的检查任务。其次国网单位培训资源分配不均也是一个问题。一些重点区域和部门能够获得更多的培训机会和资源，而偏远地区或规模较小的单位则难以得到同等的培训支持。这导致了技能水平的进一步分化^[4]。

（二）检查设备落后且信息化水平较低

虽然当前各种科学技术得到了快速发展与应用，但在国网单位用电检查方面，检查设备落后且信息化水平较低仍是一个显著的问题。例如在一些偏远地区的国网单位，该地区的工作人员在检查中仍然使用传统的手工抄表方式，这一现象会导致用电检查时不仅效率低下，而且容易出现人为错误。这种落后的检查方式无法满足现代电网管理的需求，导致数据收集不准确，难以实现精细化管理。此外信息化水平较低也制约了国网单位用电检查的

效率和质量。当前许多国网单位的用电信息管理系统功能不完善，因内部数据共享和处理能力有限而无法实现跨区域、跨部门的信息互联互通。这不仅影响了用电检查的及时性和准确性，也增加了运维成本和管理难度。

（三）检查流程与管理制度较为繁琐

现有的国网单位用电检查流程与管理制度较为繁琐，导致工作效率不高，难以适应快速变化的市场需求。具体而言在国网用电检查中存在检查流程中过多的审批环节，而每个环节都需要耗费一定的时间，这不仅延长了检查周期也增加了人力成本。其次管理制度中缺乏灵活性，对于一些特殊或紧急情况的处理不够及时，导致问题不能得到迅速解决。此外检查人员在执行任务时，往往需要携带大量纸质文件，不仅增加了工作负担，也容易造成信息的丢失和错误^[5]。

（四）法律法规宣传不足

随着电力市场的快速发展和用电需求的不断增长，尽管国家已经出台了一系列电力法律法规，但在实际执行过程中许多用电客户对这些法律法规的了解仍然不够深入，导致用电行为不规范甚至出现违规用电现象。其中宣传力度不够是导致法律法规普及不足的主要原因。国网单位在日常工作中往往更注重技术层面的检查，而忽视了对用电客户进行法律法规教育的重要性。这使得许多用电客户对电力法律法规的认知停留在表面，缺乏深入理解和遵守的意识。其次宣传方式单一也是问题之一。目前国网单位主要通过发放宣传册、举办讲座等方式进行法律法规宣传，但这些方式往往难以覆盖所有用电客户，尤其是那些对新技术、新媒体接受度较低的群体。因此需要创新宣传手段，利用互联网、社交媒体等平台，扩大宣传覆盖面，提高宣传效果^[6]。

（五）用户用电安全意识薄弱

现在用户用电安全意识薄弱在国网单位的用电检查中也是一个普遍存在的问题。在国网单位的用电检查中发现，许多用户对电力设施的保护和用电安全知识了解不足，导致违规操作和用电隐患频发。例如一些小型企业为了节省成本，私自改动电表计量装置，或者在没有专业电工指导的情况下自行安装和维修电气设备。这种行为不仅违反了电力法规，还极易引发火灾和触电事故，对用户自身和周围环境造成严重威胁。

三、国网单位用电检查的改进措施与建议

（一）加强人员培训与引进

近些年来在社会对电力需求的不断增长和电网技术的快速发展的背景下，国网单位在用电检查方面采取了一系列改进措施与建议，以确保电网安全稳定运行和提高用电效率。在国网单位的策略开展中，加强人员培训与引进是提升用电检查质量的重要举措之一。在具体的策略实施中，国网单位可以通过定期举办各类技术培训和业务学习班，不断提高检查人员的专业技能和业务水平。例如组织人员参加电力系统安全运行、智能电网技术、用电信息采集系统等方面的培训，使他们能够熟练掌握最新的电力技术和设备操作方法。此外还鼓励员工参加各类资格认证考试，如

电工证、高压操作证等，以提升个人资质和专业能力^[7]。

（二）提升技术装备与信息化水平

为了促进工作人员的用电检查信息化，确保检查水平跟随时代发展脚步，国网单位提升技术装备与信息化水平是其中的关键所在。国家电网单位通过引入先进的检测设备和智能分析系统，可以大幅提高检查效率和准确性。例如在工作人员的具体用电检查中，采用无人机搭载红外热像仪进行高空巡检，能够快速发现输电线路的异常发热点，减少人力巡检的危险性和劳动强度。

（三）完善管理体系与流程

国网单位用电检查的效率和质量是当前需要提升的重点方向，国网单位可以通过建立标准化的检查流程来进一步优化。在具体策略实施中应制定统一的检查标准和操作规程，确保每一步骤都有明确的指导和规范，在减少人为操作随意性的同时提高检查的准确性和一致性。除此之外的国网单位还应优化人员培训机制。需要定期对用电检查人员进行专业培训，以此来进一步提升其业务能力和技术水平。同时还需要在工作中建立相应的激励机制，鼓励员工积极参与创新和改进工作流程，提高工作积极性和主动性^[8]。

（四）加大法律法规宣传与执行力度

在当前的社会环境下使得用电检查工作面临诸多挑战，尤其是在快速发展的城市和农村地区。例如某市近期发现多起窃电行为，这一现象不仅导致国有资产流失，还是群众对于用电相应法规了解薄弱的体现。针对于此国网单位在用电检查方面已经采取了一系列改进措施。首先通过引入智能电表和大数据分析技术，提高了检测窃电行为的准确性和效率。此外国网单位还与公安机

关合作，严厉打击窃电犯罪行为，起到了一定的震慑作用。然而为了进一步提升用电检查的效果，国网单位还加大法律法规的宣传与执行力度。利用多种媒介，如电视、广播、网络等，广泛宣传电力法律法规来进一步提高公众的法律意识，使用户明白窃电的严重性和危害性^[9]。

（五）提高用户用电安全意识与合作度

在当前数字化转型和绿色低碳发展的时代背景下，使得国内电力系统的智能化、网络化水平不断提升，这就需要国网单位的用电检查工作也必须与时俱进，同时用户用电安全意识和合作度的提升同样重要。这就需要国网单位重点进行该方面的宣传，可以通过线上线下的方式向用户普及用电安全知识，如家庭用电安全、企业用电规范等相应知识。例如国网单位可以与社区合作，举办用电安全知识讲座，发放宣传册，甚至通过短视频平台发布用电安全小贴士，以吸引更多用户的关注和参与^[10]。

四、结语

综上所述通过上述措施的实施，国网单位能够有效提升用电检查工作的质量和效率，确保电力系统的安全稳定运行。同时，通过加大电力法律法规的宣传力度，提高用户的用电安全意识，国网单位能够与广大用电客户建立更加和谐的合作关系，共同促进电力市场的健康发展。未来国网单位还需不断探索和创新，以适应不断变化的市场需求和技术进步，为社会提供更加安全、高效、智能的电力服务。

参考文献

- [1] 许小卉, 孙翔和, 叶圣龙. 业扩档案数字化建设及档案管理水平提升举措研究 [C] // 中国电力企业管理创新实践 (2021 年). 国网浙江省电力有限公司乐清市供电公司, 2023:3. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.005527.
- [2] 酒西彤. 电力营销高压用电检查管理存在问题及解决对策分析 [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 (二). 国网泰安供电公司, 2024:3. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.026297.
- [3] 徐旭. 关于在电力营销中落实远程用电检查的策略研究 [C] // 广东省国科电力科学研究院. 第五届电力工程与技术学术交流会议论文集. 国网湖北省电力有限公司荆州供电公司, 2024:2. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.000506.
- [4] 徐宾. 基于降低线损的用电检查措施分析 [J]. 集成电路应用, 2021, 38(10):198-199. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2021.10.093.
- [5] 孙风华. 用电检查中的计量问题分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(03):104-105. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.03.041.
- [6] 蒋天骥. 供电企业用电检查管理及营销策略问题分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(08):192-193. DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.08.074.
- [7] 高凡淇. 用电检查与反窃电智能信息平台的设计与应用 [C] // 冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协职业培训中心. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集. 国网汉中市汉台区供电公司, 2024:4. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.025890.
- [8] 赵津. 输配电及用电工程的安全管理思考 [C] // 冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协职业培训中心. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集. 丽水正好电力实业集团有限公司配网建设分公司, 2024:4. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.025967.
- [9] 周刚, 孙庆香. 基于通信技术的用电检查远程监控与实时报警系统设计 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(08):218-219. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.08.098.
- [10] 郝冠男, 吴兴宇, 沈留宝, 等. 沿海地区超大场地施工节水节电技术研究 [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 (中册). 中国建筑第八工程局有限公司; 中建八局华南建设有限公司, 2024:4. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.027921.

建筑电气与智能化建筑融合发展研究

曹斌

江苏万象建工集团有限公司规划建筑设计研究院, 江苏 连云港 222000

摘 要： 本文探讨了建筑电气与智能化建筑的融合发展，分析了两者结合的现状和关键技术，并提出了促进融合的策略和展望未来发展趋势。文章指出，智能化建筑对建筑电气系统提出了更高要求，推动其向智能化、高效化方向发展。通过电力监控、能源管理和智能化控制系统等关键技术，可以实现建筑环境的智能监控和管理，提高能效、安全性和舒适性。文章强调政策支持、技术创新、人才培养和跨学科合作的重要性，并展望了建筑电气与智能化建筑融合发展的广阔前景，包括市场需求增长、技术革新和用户体验提升等方面。

关 键 词： 建筑电气；智能化建筑；融合发展；关键技术；发展策略

Research on the Integrated Development of Building Electrical and Intelligent Buildings

Cao Bin

Planning and Architectural Design Research Institute, Jiangsu Wanxiang Construction Engineering Group Co., Ltd. Lianyungang, Jiangsu 222000

Abstract： This article explores the integrated development of building electrical and intelligent buildings, analyzes the current status and key technologies of their combination, and proposes strategies to promote integration and looks forward to future development trends. The article points out that intelligent buildings place higher demands on building electrical systems, pushing them towards intelligent and efficient development. Through key technologies such as power monitoring, energy management, and intelligent control systems, intelligent monitoring and management of the building environment can be achieved, improving energy efficiency, safety, and comfort. The article emphasizes the importance of policy support, technological innovation, talent cultivation, and interdisciplinary cooperation, and looks forward to the broad prospects for the integrated development of building electrical and intelligent buildings, including market demand growth, technological innovation, and improved user experience.

Keywords： building electrical; intelligent buildings; integrated development; key technologies; development strategy

引言

建筑电气系统传统上主要负责建筑的电力供应、照明、通信、安防等功能，而智能化建筑的兴起，对电气系统提出了更高的要求。智能化建筑通过集成传感器、控制器、网络通信等信息技术，实现了对建筑环境的智能监控与管理，提高了建筑的能效性、安全性和舒适性。然而，建筑电气与智能化技术的融合并非一帆风顺，面临着学科交叉、技术集成、标准统一等多重挑战。

一、建筑电气与智能化建筑概述

在现代建筑领域，建筑电气与智能化建筑的融合已成为推动行业发展的重要力量。建筑电气，作为建筑物的重要组成部分，不仅承担着提供稳定电力供应的职责，而且通过其先进的技术系统，为建筑物的智能化奠定了坚实的基础。智能化建筑，则是在建筑电气的支撑下，运用现代信息技术，实现对建筑环境的智能化管理和服务，从而提升建筑物的整体性能和用户体验。

建筑电气系统的发展，已从传统的单一供电网络，演变为一

个集成了供电、照明、通信、安防、自动化控制等多功能于一体的复杂网络。这一转变不仅提高了建筑的能源利用效率，增强了安全性与可靠性，而且为智能化建筑的实现提供了硬件支撑。智能化建筑通过集成控制中心，将建筑电气系统的各个部分连接起来，形成一个智能化的管理体系，能够实时监测和调节建筑内的各种环境参数，如温度、湿度、光照等，从而实现资源的优化配置和环境的最佳调控。

智能化建筑的核心在于其高度的信息化和自动化。建筑电气系统通过智能化改造，不仅能够实现对设备的远程监控和故障诊

断，还能够根据用户需求和环境变化自动调整运行状态，极大地提升了建筑的智能化水平。此外，智能化建筑还注重用户体验的提升，通过智能化的家居系统、办公系统等，为用户提供便捷、舒适、安全的生活和工作环境。

二、建筑电气与智能化建筑融合发展现状分析

在建筑行业的现代化进程中，建筑电气与智能化建筑的融合已经成为一种不可逆转的发展趋势。智能化建筑的广泛应用正不断拓展，而其发展也在深刻影响着建筑电气系统的各个方面。

（一）建筑电气在智能化建筑中的应用

智能化建筑的供电系统通过集成智能配电设备，如智能断路器和电能表，实现了电能的精确控制和高效管理。这些设备能够实时监控电力系统的状态，自动执行故障诊断和预警，确保了供电的连续性和可靠性。照明系统则通过智能控制技术，根据环境光线和人员活动自动调整亮度，既提升了照明的舒适度，又显著降低了能源消耗。同时，通信网络和安防系统通过集成化设计，将视频监控、门禁、火灾报警等子系统与中央控制系统相结合，构建了一个高效的安全管理网络。

（二）智能化建筑对建筑电气的影响

智能化建筑融合了建筑、通信、网络和监控等各方面先进的科学技术的集成整体，作为发展的智能化建筑综合体，对结构、管理、系统等方面的要求很高，借助高效的电气节能优化设计，为使用者提供智能化生活空间，使人们生活更加便捷、舒适和安全^[1]。传统的电气系统设计已不足以满足智能化建筑的高效、灵活和个性化需求，因此，电气系统亟需智能化升级。采用光纤、无线通信等先进传输介质和基于物联网的楼宇自动化控制系统，不仅提高了系统的效率和响应速度，还增强了系统的兼容性和扩展性，以适应不断升级的智能化设备和多变的使用需求。

安全性、可靠性和节能性是智能化建筑对建筑电气的更高要求。在智能化建筑中，电气系统的稳定运行至关重要，任何故障都可能影响整个建筑的智能化功能。因此，电气系统的设计和运维管理需要更加精细和严格。此外，智能化建筑的节能目标要求电气系统在设计时更加注重能效管理，通过智能化手段实现能源的最优化配置和使用。

三、建筑电气与智能化建筑融合发展关键技术研究

（一）电力监控系统

电力监控系统是智能化建筑电气工程的核心，它通过高精度的传感器、先进的通信技术和强大的数据处理能力，实现对建筑内电力系统的全面监控。系统中的智能断路器、电流互感器、电压互感器等设备，能够实时采集电力系统的运行数据，包括电流、电压、功率因数、频率等关键参数^[2]。通过监控中心的大屏幕或移动终端，管理人员可以直观地了解到电力系统的实时状态，一旦出现异常，系统将立即发出警报，并通过预定的程序自动执行故障隔离、负荷转移等操作，确保电力供应的连续性和安

全性。

（二）能源管理系统

能源管理系统则在此基础上更进一步，它通过对建筑内各种能源消耗的实时监控和分析，为建筑节能提供数据支持。系统利用智能电能表、水表、气表等计量设备，收集建筑内的能源使用数据，并通过数据挖掘技术分析能源消耗的模式和趋势。在此基础上，能源管理系统可以制定出最优化的能源使用策略，如调整空调系统的运行时间、优化照明系统的控制逻辑等，从而有效降低建筑的能耗^[3]。此外，系统还能提供详细的能源报告，帮助管理人员制定长期的节能规划和改造方案。

（三）智能化控制系统

智能化控制系统则是智能化建筑的大脑，它集成了建筑自动化、通信自动化和办公自动化等多个子系统，通过统一的平台实现对建筑内各种设备的智能控制。在照明控制方面，系统可以根据室内外光线强弱、人员活动情况自动调节灯光亮度，节省能源的同时提升使用舒适度。在空调控制方面，系统通过温湿度传感器收集环境数据，智能调节空调运行状态，保持室内环境的恒定舒适。此外，智能化控制系统还能实现对安防监控、消防报警、电梯调度等系统的集成管理，提高建筑的整体安全性能和运营效率^[4]。

四、建筑电气与智能化建筑融合发展策略

随着科技的飞速发展，建筑电气与智能化建筑的融合已成为建筑行业发展的必然趋势。

（一）政策与标准制定

在当今时代，科技进步推动着建筑行业的转型升级，建筑电气与智能化建筑的融合成为行业发展的重要方向。我国政府高度重视这一趋势，通过制定一系列政策和标准，为建筑电气与智能化建筑的融合发展提供了强有力的支撑。这些政策与标准紧贴行业发展需求，深刻体现了对建筑电气系统与智能化技术深度融合的精准把握。

政策层面，我国已将智能化建筑纳入国家战略性新兴产业，出台了一系列鼓励政策，如《关于推动建筑产业现代化发展的指导意见》等，明确提出要提高建筑智能化水平，推动建筑电气与智能化技术的融合应用^[5]。这些政策不仅为行业发展指明了方向，还为相关企业提供了资金、税收等方面的支持。

在标准制定方面，我国不断完善建筑电气与智能化建筑相关标准体系，如《智能建筑设计标准》《建筑电气设计规范》等，这些标准从设计、施工、验收等多个环节对建筑电气与智能化建筑提出了具体要求^[6]。这些标准既保证了建筑电气系统的安全可靠，又促进了智能化技术在建筑领域的广泛应用，为建筑行业的可持续发展奠定了坚实基础。

（二）技术创新与人才培养

在建筑电气与智能化建筑融合发展的征途上，技术创新与人才培养是推动行业向前迈进的两大引擎。面对日益增长的智能化需求，行业必须不断深化技术创新，培育一支高素质的专业队伍，以实现建筑电气系统的智能化升级。

技术创新是融合发展的核心动力，要求企业加大研发投入，紧跟物联网、大数据、云计算等前沿技术，推动建筑电气系统与智能化技术的深度融合^[7]。通过智能化改造，实现电气系统的远程监控、故障预测和维护，提高建筑能效管理水平和用户体验。同时，加强与高校、科研机构的合作，搭建产学研一体化平台，加速新技术在建筑电气领域的转化应用。

人才培养则是技术创新的基石，行业需构建多层次、全方位的人才培养体系。从基础教育到在职培训，都要注重理论与实践相结合，强化电气工程师的智能化知识储备和技能训练。

（三）跨学科合作与交流

建筑电气与智能化建筑的融合发展尽管已取得一定进展，但仍面临诸多挑战。学科间的壁垒限制了技术融合与创新，专业人才缺乏跨学科知识和技能，导致在实际项目中难以实现高效协同。

为促进建筑电气与智能化建筑的融合发展，建立跨学科合作平台成为关键举措。该平台的建设应兼顾线上与线下，形成全方位的交流与协作网络^[8]。在线协作工具的部署，旨在打破地理界限，让不同地区的工程师、设计师和科研人员能够实时沟通，共同工作。这些工具包括云端项目管理系统、虚拟会议室、共享文档编辑平台以及专业的社交网络，确保信息流通无阻，创意得以自由交流^[9]。同时，实体交流空间的创建同样重要，它为专业人员提供了一个面对面交流的环境，有助于加深理解和建立信任。这些空间可以是专门的会议室、展览中心或者创新实验室，配备有先进的多媒体设备和演示工具，以便于进行深入的技术研讨和成果展示。在这里，定期的研讨会、工作坊和讲座等活动能够吸引来自电气工程、建筑学、计算机科学等领域的专家学者，他们可以在轻松的氛围中交流思想，碰撞出创新的火花。

此外，跨学科合作平台还应具备资源库功能，收集和整理最新的技术动态、研究成果、行业报告和案例研究，供平台成员随时查阅。这样的资源库不仅能够提供知识支持，还能够激发成员之间的灵感，促进跨学科知识的应用和创新。

五、建筑电气与智能化建筑融合发展前景展望

建筑电气与智能化建筑的融合发展，正站在市场需求激增与技术革新交汇的风口上，展现出广阔的发展前景。随着城市化进程的加快和信息技术的高速发展，建筑行业对于智能化、高效能

的需求日益旺盛，为建筑电气与智能化建筑的融合提供了巨大的市场空间。

（一）市场需求与发展机遇

市场需求方面，新型城镇化建设的推进，使得城市规划与建筑设计理念不断更新，对建筑电气系统的智能化要求越来越高。商业综合体、智能住宅、绿色建筑等新兴建筑形态的出现，要求电气系统不仅要满足基本的能源供应需求，更要实现能源管理、环境控制、安全监控等智能化功能^[10]。此外，随着人们对生活品质的追求，智能家居市场迅速扩张，为建筑电气与智能化技术的融合提供了广阔的应用场景。企业办公、医疗健康、教育培训等领域，也因智能化建筑的普及而享受到效率提升和成本节约的红利。这些需求不仅为建筑电气行业带来了新的发展机遇，也对其技术创新提出了更高的要求。

（二）技术发展趋势

技术发展趋势方面，互联网、大数据、云计算、人工智能等技术的迅猛发展为建筑电气与智能化建筑的融合提供了强有力的技术支撑。未来的建筑电气系统将更加注重能效管理与优化，通过智能化的监测和控制，实现能源的精细化管理，降低建筑能耗。例如，基于物联网技术的智能电网和智能家居系统，能够实时监测用电情况，通过数据分析优化能源分配，提高能源使用效率。同时，建筑电气系统将建筑信息模型（BIM）技术深度融合，实现设计、施工、运营维护的全生命周期管理，提高建筑行业的整体效率。此外，随着5G技术的商用化，高速、低延迟的网络环境将使得建筑电气系统更加智能化，为远程控制、实时监控等应用提供可能。

六、结束语

建筑电气与智能化建筑的融合发展，正推动建筑行业走向智能、高效、可持续的未来。智能化电气系统提升了建筑的能效性、安全性和舒适性，电力监控、能源管理和智能化控制等技术应用使其更加高效可靠。智能家居、智慧办公等新兴场景拓展了融合应用空间。然而，融合发展仍面临技术集成、标准统一、人才培养等挑战，需要政府、企业、科研机构共同努力，制定政策、加大研发、培养人才，推动技术创新和行业进步。展望未来，建筑电气与智能化建筑的深度融合将为人们创造更加美好的生活环境和工作环境。

参考文献

- [1] 张小安. 智能化建筑电气节能优化设计研究 [J]. 住宅与房地产, 2020, (05): 72.
- [2] 孙海龙. 建筑电气工程智能化技术的施工策略实践探索 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, (03): 132-134. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.03.040.
- [3] 吴建春. 建筑电气工程中的智能化技术应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(03): 266-267. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.03.122.
- [4] 曲明安. 建筑电气智能化发展策略 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(02): 94-96+113. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2023.2.022.
- [5] 王文华. 建筑电气智能化系统联动控制技术 [J]. 科技资讯, 2022, 20(21): 43-46. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2205-5042-3920.
- [6] 刘津婷. 建筑电气工程智能化技术的应用 [J]. 中国房地产, 2022, (24): 45-50. DOI: 10.13562/j.china.real.estate.2022.24.013.
- [7] 杜艳萍. 智能化技术在建筑电气设计中的应用 [J]. 居业, 2022, (07): 46-48.
- [8] 高洪慧. 建筑电气工程中的智能化技术应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(02): 278-279. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.02.122.
- [9] 谢良富. 简述智能化建筑与建筑电气 [J]. 居舍, 2021, (36): 154-156.
- [10] 郭帅. 建筑电气智能化及节能设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, (23): 220-221.

基于电力市场规则的现货交易模型优化研究

方占跃, 李利民, 刘赣斌, 常明明

广州发展新能源集团股份有限公司华北分公司, 河南 郑州 450000

摘要： 本研究深入探讨了现货交易模型的构建与优化, 从基本概念到各省交易现状, 提出了一系列高效模型的构建步骤, 包括数据分析、行业案例研究、关键交易点的确定。同时, 强调了引入辅助服务、调整交易模式、建立专业团队、提升设备可靠性及优化交易策略的重要性。旨在为现货交易策略的持续改进提供框架和方法, 以应对市场挑战, 助力地方经济进步。

关键词： 现货交易模型; 交易策略; 优化方法; 市场动态

Research on Optimization of Spot Trading Model Based on Electricity Market Rules

Fang Zhanyue, Li Limin, Liu Ganbin, Chang Mingming

North China Branch of Guangzhou Development New Energy Group Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： This study delves into the construction and optimization of spot trading models in the electricity market, progressing from fundamental concepts to the current trading situations in various provinces. It presents a series of steps for building efficient models, encompassing data analysis, industry case studies, and the identification of key trading points. Furthermore, it underscores the significance of introducing ancillary services, adjusting trading modes, establishing professional teams, enhancing equipment reliability, and optimizing trading strategies. The aim is to provide a framework and methodology for the continual improvement of spot trading strategies, enabling effective responses to market challenges and driving local economic advancement.

Keywords： spot trading model; trading strategy; optimization method; market dynamics

引言

随着全球经济的快速发展和市场环境的不断变化, 现货交易作为一种直接、高效的交易方式, 日益成为企业运营和市场策略的重要组成部分。现货交易以其即时的实物交割特点, 在价格发现、风险控制和供应链协调等方面发挥着至关重要的作用。然而, 面对市场的复杂性和不确定性, 如何构建与优化现货交易模型, 提高交易效率, 降低交易成本, 成为当前现货交易领域亟待解决的问题。X省作为我国的经济大省, 现货交易市场在区域经济发展中具有举足轻重的地位。

一、现货交易模型概述

我国电力市场建设是中长期交易为主、现货交易为补充的多元化电力市场。总体来看, 目前市场整合是电力市场改革的主流趋势。一方面, 市场整合能够促进跨境电商发展, 另一方面, 一体化的市场可以促进跨境交易, 增强市场联络^[1]。

(一) 现货交易基本概念

现货交易, 简单来说, 是交易双方在协议达成后迅速完成实物商品交付的过程。与期货交易的未来交割承诺不同, 现货交易强调即时的实物交割。其显著特征在于交易的即时性, 买卖双方交易发生时便确定了商品的价格和数量, 随后不久便执行实物的转移。而电力现货交易需要保证交易的透明度和公正性, 计量运维模式需要充分考虑透明度和公正性的要求, 保证交易的合法性和合规性^[2]。

(二) 现货交易模型的发展现状

随着信息技术的飞速进步和金融工具的创新, 现货交易模型已从传统的面对面交易方式演变为电子化、平台化的操作模式。现代现货交易模型大多建立在电子交易平台之上, 实现了交易流程的自动化、透明化和高效率。全球范围内的商品交易所和电子市场为现货交易提供了广阔的舞台, 使得交易参与者能够迅速适应市场动态, 有效优化库存和供应链管理。同时, 现货交易模型也在持续创新之中, 例如, 融合区块链技术的去中心化交易模式正在逐渐重塑传统的交易结构。

(三) 现货交易模型的重要性

现货交易模型在多个方面展现出其不可或缺的价值。它赋予企业采购和销售的灵活性, 使其能够敏捷地应对市场价格的波动。该模型促进了资源的有效分配, 通过市场机制加速了商品的流通。在市场价格形成过程中, 现货交易模型扮演了关键角色, 直接映射了

市场的供需关系。随着模型的持续优化，它也为市场监管者提供了更加高效的监管工具，助力维护市场的秩序和公平性^[9]。

二、X省现货交易现状分析（举例）

电力交易以省级为单位规则各自根据国家指导意见制定适用本省的现状，举例电力现货交易现状进行分析，X省作为我国的经济大省，其现货交易市场在区域经济发展中扮演着举足轻重的角色。

（一）X省交易模式概述

X省的现货交易模式多种多样，跨越能源、农产品、工业品等多个行业。该省的现货交易主要通过以下几种方式进行：一是通过传统的大型商品交易市场，如青岛港的大宗商品交易，涉及煤炭、橡胶等；二是利用电子商务平台，如X省电子口岸，进行线上交易；三是企业间的直接交易，包括个性化的协商交易和稳定的战略合作。

（二）X省现货交易存在的问题

尽管X省现货交易市场发展势头强劲，但面临的挑战亦不容忽视。市场信息透明度不足，价格发现机制不完善，这直接影响了交易的效率。同时，交易服务体系尚未健全，缺少专业第三方服务，如物流、质检、金融服务等，这限制了市场的进一步发展。此外，一些交易平台的设施和技术更新滞后，难以适应市场的快速变化^[10]。监管力度也需要加强，以更好地防范市场风险，确保交易双方的利益得到保护。

（三）X省现货交易提升的必要性

提高X省现货交易水平对于地区经济发展至关重要。X省经济的稳步增长带来了资源日益增长的需求，提升现货交易效率是满足生产和消费需求的关键。同时，优化现货交易市场能够推动产业结构的优化升级，提升资源配置的效率，并减少交易成本。进一步，现货交易水平的提升将增强X省在国内乃至国际市场的竞争力，为区域经济的持续健康发展打下坚实的基础。

三、现货交易模型建立与完善

构建一个高效且稳定的现货交易模型，是实现交易流程优化和市场秩序稳固的核心所在。该模型不仅能够显著提升交易效率，确保资源在短时间内得到合理配置，还能有效维护市场稳定，防止价格剧烈波动带来的风险。

（一）交易数据收集与分析

交易数据的搜集是构建现货交易模型的关键起点。必须明确所需数据的范围和种类，涵盖历史交易价格、成交量、市场供需状况以及宏观经济指标等。随后，利用统计学和大数据分析技术对所搜集的数据进行深入处理，旨在洞察市场趋势、价格波动模式及潜在的风险要素^[11]。在分析过程中，数据的真实性和时效性至关重要，以确保所得分析结果的精确和可信。

（二）行业内优秀企业分享案例研究

在现货交易领域，省内某大型钢铁企业以其卓越的现货交易

策略成为行业标杆，该策略在成本控制、风险管理和利润最大化方面成效显著。企业通过高效物流系统降低运输成本，采用先进生产技术提升效率，并通过现货交易平台实时监控市场，以最优价格进行交易。同时，建立完善的市场风险监测体系，运用套期保值等金融工具对冲风险，并与供应商、客户建立长期合作关系以稳定市场波动。在利润最大化方面，企业通过精细化市场分析调整产品结构，快速响应市场变化，优化库存管理，提升资金使用效率^[12]。

（三）交易支点及重点的确定

在现货交易模型中，交易支点和重点扮演着至关重要的角色。支点揭示了影响市场供需平衡的决定性因素，如政策调整、季节性需求变化等；而重点则突出了交易过程中需特别留意的环节，包括定价策略、交割程序等。准确识别并确立这些支点和重点，对于构建具有针对性和实效性的交易模型至关重要。

（四）X省现货交易模型构建

模型构建应遵循以下原则：一是紧密结合X省的实际情况，充分考虑地区特色和产业优势；二是确保模型的灵活性和适应性，能够及时响应市场变化；三是强化风险控制，确保交易安全。构建过程中，应充分利用现代信息技术，如人工智能、区块链等，以提高模型的智能化和精准度^[13]。

四、引进辅助服务单位及交易模式调整

在现货交易市场这一错综复杂的商业生态系统中，辅助服务单位扮演着不可或缺的角色。它们通过精心提供一系列关键且专业的服务，为交易的顺畅进行奠定了坚实的基石。

（一）辅助服务单位在现货交易中的作用

辅助服务单位在现货交易领域扮演着多样化角色。它们通过专业的市场分析，助力交易主体洞察市场脉动和价格走向。同时，这些单位通过物流、仓储、质检等关键服务，保障了交易的顺畅执行。更进一步，辅助服务单位在风险管理和金融服务方面提供坚实后盾，提升了交易双方的信任度，有效降低了交易风险。鉴于此，吸引和培养卓越的辅助服务单位，对于提高现货交易市场的综合竞争力具有深远意义。

（二）X省内交易业绩较好的辅助服务单位筛选

为了挑选出表现卓越的辅助服务单位，有必要构建一个科学的评估框架。该框架应涵盖服务质量、市场声誉、业务实力、创新水平等多个评价维度。通过现场考察、数据剖析、客户评价等手段，对X省内的辅助服务单位进行全方位的评审^[14]。在此基础上，筛选出那些业绩显著、服务上乘、市场高度认可的单位作为合作伙伴，从而有效提升现货交易的整体服务品质。

（三）交易模式调整策略

针对X省现货交易市场的实际情况，塑造与X省本地特色相结合的交易模型，采取了一系列策略：细致剖析X省产业结构，量身定制交易方案，针对农业、制造业和旅游业等领域推出紧密相关的现货交易产品，如农产品和手工艺品，紧密契合地方经济需求。交易平台的设计和流程中融入了当地文化等传统元素，策

划与特色节日相结合的特色交易活动，提升模型的文化价值。利用 X 省自然资源优势，优化交易结构，推广地理标志产品交易，增强地方品牌的市场地位。顺应本地消费习惯，调整交易时间，提供偏好支付选项，提升服务体验。加强本地化服务，建立服务网络，培育专业团队，深化客户关系。确保交易模型与地方政策法规保持一致，与政府合作，利用政策优势推动本土化发展^[9]。

五、组建优秀交易团队

在现货交易这个充满变数和挑战的领域，拥有一支反应迅速、技能精湛的交易团队，无疑是企业保持竞争优势的关键。这支团队的价值在于其能够深入市场的最前线，利用敏锐的市场洞察力和高超的交易技艺，迅速捕捉市场变化，有效管理和控制交易中的风险，确保企业的持续稳健发展，并大幅提高交易效率，从而直接推动企业盈利能力的增长。打造这样一支精英团队，需要通过精确的人才选拔和细致的人才培养，通过广泛的人才招聘渠道和全面的培训计划，吸引和培养来自不同背景的杰出人才，同时强调终身学习的重要性，以保持团队的专业领先地位。

为了确保交易团队能够持续高效地运作，必须采取一系列策略来强化团队的结构和功能。这包括优化组织架构，以适应不断变化的市场条件和业务需求，提升决策的灵活性和速度；实施与业绩紧密相关的薪酬和晋升机制，以激发团队成员的工作热情和动力；构建更加完善的风险管理体系，确保交易活动在可控的风险范围内进行；以及利用先进的信息技术，提高交易的速度和数据处理能力^[10]。最为关键的是，培育一种积极向上、团结协作、不断追求卓越的团队文化，这不仅能够增强团队的凝聚力，还能够全面提升团队在激烈市场竞争中的综合战斗力。

六、现货交易策略模型优化

在现货交易这个变化无常且充满挑战的领域中，策略模型的持续优化显得尤为关键。它不仅是提升交易决策精准度和效率的基石，也是增强企业在市场中灵活应对能力、巩固并提升竞争力的核心所在。

（一）策略模型优化方法

策略模型的优化涉及数据分析、机器学习、模拟测试和实时

反馈等多种方法。利用统计学和数据分析技术深入探究历史交易数据，揭示交易模式和趋势；通过机器学习算法，例如随机森林或支持向量机，训练模型以增强市场走势预测和交易机会识别的能力。同时，通过仿真环境对策略模型进行回测和压力测试，以评价其应对不同市场状况的表现。此外，建立实时监控系統，收集交易执行反馈，便于及时调整模型参数，保障策略模型不断优化并紧跟市场动态。

（二）优化过程中的关键因素分析

在策略模型优化过程中，特别需要关注市场动态、数据质量、算法选择和风险控制等关键因素。市场供需关系、价格波动和政策变化等动态因素对模型性能有着直接影响；同时，数据的准确性、完整性和时效性构成了模型优化的基石。选择合适的算法对于提升模型的预测能力和适应性至关重要。此外，优化过程中必须兼顾收益与风险的平衡，确保交易策略的稳健性，以维护交易活动的长期成功。

（三）策略模型优化效果验证

为确保策略模型优化的有效性，本研究采取了一系列验证步骤，包括对比优化前后模型在相同条件下的性能，通过收益率、夏普比率等经济指标量化优化后的经济效益，以及选取特定市场情景进行案例研究，分析模型在实际交易中的应用效果。此外，认识到优化是一个持续的过程，强调了持续监测模型表现并根据市场动态进行相应调整的重要性。本章的研究旨在构建一套系统的框架和方法，旨在助力企业更好地应对市场变化，实现其交易目标，从而推动现货交易策略模型的持续优化。

七、结束语

总的来说，现货交易模型的建立与完善是推动市场发展、提升企业竞争力的关键所在。通过对 X 省现货交易现状的深入分析，我们明确了优化交易模型的重要性，并提出了构建高效交易团队、引进辅助服务单位、调整交易模式、强化设备可靠性研究与技术改造等多方面的策略。策略模型的优化更是确保了交易决策的质量和市场竞争能力。

参考文献

- [1] 艾云涛, 周立辉, 于洋, 等. 我国电力市场现货交易分析及研究 [J]. 智慧中国, 2023, (11): 88-90.
- [2] 张君富, 姜红红, 李威. 电力现货交易背景下的计量运维模式思考 [J]. 市场瞭望, 2023, (07): 58-60.
- [3] 汪鹏. 风光新能源发电参与多市场耦合交易模型研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.000190.
- [4] 王慧娟. 基于区块链的电力现货交易与综合能源服务研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2020.DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2020.000579.
- [5] 闫心月. 考虑现货交易的工业园区热电协调策略研究 [D]. 沈阳工业大学, 2023.DOI: 10.27322/d.cnki.gsgyu.2023.001199.
- [6] 段晓宇. 区块链技术下虑及碳排放权的电力现货交易模型 [J]. X 省电力高等专科学校学报, 2023, 26(01): 56-60.
- [7] 曹瑞峰, 赵蜜, 卢菲菲, 等. 客户侧电力现货交易模型策略研究 [J]. 机电信息, 2021, (23): 60-62.DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2021.23.025.
- [8] 樊宇琦, 丁涛, 汤洪海, 等. 考虑路径折算的跨省跨区可再生能源增量现货交易模型 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(18): 103-112.
- [9] 胡晨旭, 关立, 罗治强, 等. 跨区域省间富余可再生能源现货交易优化出清模型 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(13): 110-116.
- [10] 邢通. 大规模风电参与电力市场交易机制及优化模型研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2020.DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2020.000044.

电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用研究

刘志远, 林玮, 刘颖

国网四川省电力公司眉山供电公司, 四川 眉山 620000

摘 要 : 本文针对电网企业设备全生命周期管理系统展开研究。分析了电网企业设备管理现状及需求, 通过白云电气等案例展示系统设计实施路径与成效, 剖析了系统应用中的配电设备管理问题和 IT 设备管理难题。最后总结电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用对于提高企业管理效率、降低成本、提升设备可靠性具有重要意义。

关 键 词 : 电网企业; 设备全生命周期管理; 智能电网调度自动化

Research on the Design and Application of the Whole Life Cycle Management System of Power Grid Enterprise Equipment

Liu Zhiyuan, Lin Wei, Liu Ying

State Grid Sichuan Power Company Meishan Power Supply Company. Meishan, Sichuan 620000

Abstract : This paper studies the whole life cycle management system of equipment in power grid enterprises. This paper analyzes the current situation and needs of equipment management of power grid enterprises, shows the path and effectiveness of system design and implementation through cases such as Baiyun Electric, and analyzes the management problems of power distribution equipment and IT equipment management problems in system application. Finally, it is of great significance to summarize the design and application of the equipment life cycle management system of power grid enterprises to improve the management efficiency, reduce the cost and improve the reliability of the equipment.

Keywords : power grid enterprises; equipment life cycle management; smart grid dispatching automation

一、电网企业设备管理现状及需求

电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用研究旨在探索高效的电网企业设备全生命周期管理方法与应用。随着电网规模的不断扩大和设备资产的日益庞大, 传统的管理模式已难以满足现代电网企业的发展需求。

全生命周期管理涵盖了设备从规划、设计、采购、建设、运行、检修、技改到报废的全过程^[1]。通过对这一过程的有效管理, 可以实现资产的优化配置, 提高设备的可靠性和运行效率, 降低运维成本。

据统计, 电网企业资产全寿命周期成本管理的对象主要包括输电设备、变电设备及配电设备的运维成本, 涉及各种资产的管理等。例如, 通过提升技术手段, 构建全面有效的资产全寿命周期管理系统, 电网企业可对数据接口进行开发, 引入质量达标的套装软件, 利用其搭建企业自身的信息系统, 使得各类资产信息得到良好的收集和记录, 从而提升成本管理工作水平。

实施流程再造, 制订契合经济社会发展的投资策略, 从源头加强对成本的控制。将全寿命周期资产成本管理理念融入电网企业的发展规划中, 以设备的生命周期作为规划的研究周期, 考虑不同的影响因素, 将系统的可靠性指标转变为经济层面的指标, 提升企业的经济效益。

提升资产精益化管理, 降低资产全寿命周期成本。建立概预算编制, 推广典型设计, 促进招标、投标、管理工作的一体化发展。加强对设备的经济运行管理, 延长设备使用寿命, 降低电网

企业的运行和维护成本。

建立资产效益责任追究制度, 促进资产全生命周期管理的合规性。对决策失误给企业造成经济损失和不良影响的人员进行严肃处理, 明确责任制度和奖惩措施, 促进企业发展。

综上所述, 通过对电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用研究, 能够为电网企业提供更加科学、高效的管理方法, 实现企业的可持续发展。

二、全生命周期管理概念

(一) 阶段划分

设备全生命周期管理涵盖多个阶段。在规划设计阶段, 需充分考虑电网的未来发展需求、负荷增长趋势以及技术的前瞻性。例如, 根据相关研究, 预计未来五年内某地区的电力负荷将以每年 8% 的速度增长, 这就要求在规划设计阶段合理确定变电站的容量和布局, 以满足不断增长的用电需求。在采购建设阶段, 要严格把控设备质量, 选择性能可靠、技术先进的设备。如在智能电网建设中, 对先进的传感器、自动化设备的采购, 确保电网能够实现实时数据采集和自动化控制。运行维护阶段是设备全生命周期的关键环节, 包括日常巡检、故障处理、设备升级等。据统计, 电网企业约 60% 的成本用于设备的运行维护^[2]。以某大型电网企业为例, 每年在设备维护方面的投入高达数亿元。报废阶段则要对设备进行合理处置, 对可回收利用的部分进行回收, 减少资源浪费。

（二）意义阐释

设备全生命周期管理对电网企业成本控制和效率提升具有重要作用。在成本控制方面，通过对设备全生命周期的规划，可以避免过度投资和资源浪费。在运行维护阶段，通过科学的维护策略可以延长设备使用寿命，降低维护成本。在效率提升方面，全生命周期管理可以确保设备始终处于良好的运行状态，提高电网的可靠性和稳定性。如智能电网调度自动化技术的应用，可以实现对电网的实时监控和智能调度，提高电网运行效率。同时，全生命周期管理还可以促进各部门之间的协同合作，打破信息孤岛，提高管理效率。

三、全生命周期管理系统设计案例

（一）白云电气案例

1. 实施路径

白云电气在整体数字化蓝图下，进行了数字化工厂总体规划 and 仿真优化、规划和建设数字化产线、工业物联网和数据采集、生产管控平台建设、数字孪生和数据分析等五大关键内容。在工厂布局规划和仿真优化方面，通过科学规划，提高了工厂空间利用率和生产流程的合理性。规划和建设数字化产线，针对不同工艺流程、复杂程度不一的中、低压智能配电设备，基于 MBD 设计开展工艺升级研究。应用综合折弯、打磨、焊接等功能的机器人组合实现多品种、小批量的自动化柔性生产。在工业物联网和数据采集方面，实现了设备之间的互联互通，实时采集生产数据，为生产决策提供依据。生产管控平台建设整合了生产计划、物料管理、质量管理等功能，实现了对生产过程的全面管控。数字孪生和数据分析则通过建立虚拟模型，对生产过程进行模拟和优化，提高了生产效率和产品质量。

2. 实施成效

白云电气在工艺升级和自动化产线建设方面取得了显著成果。以钣金加工为例，采用柔性智能制造模式后，工厂加工效率由每月 300 台提升到了 540 台，而操作工人从 40 人减少到了 10 人，综合生产效率提升 81.82%，运营成本降低 21.54%。物流方面，公司自主设计开发了智能仓储系统，并大量采用立库、AGV、RGV 等设备，实现物料数字化管理、分拣配料、自动运输和出入库，实现“货到人”精准无人配送。在计划和制造过程创新升级方面，梳理了计划管理体系，实现了设计工艺制造一体化，建设了自动化物流、自动化产线、数字孪生工厂等。在商业模式创新升级方面，数字化工厂不仅是制造中心，也是数字化能力孵化场，比如设备全生命周期管理、能源管理、Agile 一体化平台等。

（二）技术创新案例

在电网设备全生命周期管理系统的制作方法方面，有诸多创新之处。例如，电网设备全生命周期管理系统包括数据获取模块、指数计算模块和分析预警模块。数据获取模块用于对电网设备进行实时监控并获取电网设备参数数据；指数计算模块根据电网设备参数数据得到设备实际状态评估指数，反映综合评估电网

设备实际状态良好程度；分析预警模块根据设备实际状态评估指数分析电网设备的运行状态并进行预警提醒^[3]。

具体分析过程中，设备维护程度评估指数通过对电网设备进行清洁处理次数数据、润滑处理次数数据和紧固处理次数数据综合评估得出。设备良好程度评估指数则根据电网设备外观完好程度数据、表面温度数据、振动幅度数据和发出声音响度数据综合分析得出。设备更新程度评估指数通过电网设备老化程度数据、工作效率数据和实际功率数据综合评估得出。设备使用程度评估指数根据电网设备使用电压数据和使用电流数据综合评估得出。

通过这些创新的技术方法，电网设备全生命周期管理系统能够高效准确地明确电网设备的状态，实现对电网设备的全面管理。

四、全生命周期管理系统应用挑战

（一）配电设备管理问题

1. 管理混乱

在电网企业配电设备管理中，权责分配不清晰常常导致管理混乱。例如，在设备的采购环节，可能出现多个部门都参与决策，但在出现问题时却相互推诿的情况^[4]。据统计，约有 30% 的电网企业在配电设备管理中存在权责不清的问题，严重影响了管理效率和设备的正常运行。

2. 检修局限

目前，电网对配电设备的检修主要采取定期检修制度，但这种制度无法满足实际需求例如，原本一个运行状态良好的设备，按照定期检修计划进行检修，可能会因为不必要的拆卸和检查，反而降低了设备的可靠性。而对于一些处于临界故障状态的设备，可能因为未到检修时间而得不到及时处理，最终导致故障发生。状态检修和在线检修机制需要大力推广。状态检修是以设备当前的运行状态为根本出发点，利用先进的通信手段和计算机网络来检测设备运行状态，分析设备的历史状态和当前状态，并与同类设备运行的状态加以比较，从而掌握最佳的检修时机。据相关数据显示，采用状态检修可以降低约 20% 的设备故障率，提高设备的可靠性和使用寿命。

（二）IT 设备管理难题

1. 分散困境

资产分散型企业设备维护困难的原因主要有以下几点。首先，电网企业规模较大，使用 IT 设备的部门众多，各个部门对于设备的使用状况不尽相同。例如，生产部门可能主要使用与电力生产相关的 IT 设备，而管理部门则更多地使用办公自动化设备。不同部门的需求差异导致设备的管理和维护难度加大。其次，电力设施建设地点分布于全国各地，设备适用范围广，区域地形复杂多变。这使得设备的维护需要投入更多的人力、物力和时间。据统计，一个中等规模的电网企业，每年在设备维护方面的投入中，因设备分散而增加的成本约占总维护成本的 20%^[5]。此外，设备分散还导致在对设备进行维护时，技术人员需要长途奔波，响应时间延长，可能会影响设备的正常运行和故障修复效率。

2. 脱节现象

信息漏报与实际情况不一致是电网企业 IT 设备管理中常见的问题。当前阶段,电力企业对于 IT 设备的管理是将其纳入到固定资产中进行管理的。企业对于固定资产的统计往往是每个部门进行相关信息的填写,再汇总到财务部门进行信息反馈。这种管理方式容易造成管理部门对于设备的实际情况没有真正了解的现象。各个部门在进行本部门资产上报的过程中,也常会出现信息漏报的情况。例如,一些小型的 IT 设备可能由于价值不高或者使用频率较低,被部门忽视而未上报。这就致使设备信息与实际情况不一致,影响了企业对资产的准确掌握和管理决策。据调查,约有 40% 的电网企业在 IT 设备管理中存在信息漏报的问题,导致企业资产账实不符,给企业的管理带来了很大的困扰。同时,信息漏报还可能导致设备的维护和更新不及时,增加设备故障的风险,影响电网的安全稳定运行。

五、总结

本文对电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用进行了深入研究。在设计方面,通过分析白云电气等案例,展示了全生命周期管理系统在规划设计、采购建设、运行维护等各个阶段的实施路径和成效。例如,白云电气通过数字化工厂建设,实现了生产效率的大幅提升和运营成本的降低。在应用方面,从成本管理和技术创新等角度阐述了全生命周期管理系统的重要作用。如 A 公司通过构建固定资产全寿命周期管理体系,实现了企业固定资产管理总成本的最优化。同时,本文还深入分析了全生命周期管理系统在应用中面临的挑战,包括配电设备管理问题和 IT 设备管理难题。综上所述,电网企业设备全生命周期管理系统的设计与应用对于提高企业管理效率、降低成本、提升设备可靠性具有重要意义。然而,在实际应用中,仍需不断解决面临的挑战,以实现全生命周期管理系统的持续优化和完善。

参考文献

- [1] 彭秋霞, 铜涛, 吕焱, 等. 基于智能技术的电力企业 IT 资产全生命周期管理系统 [J]. 电子技术与软件工程, 2018, (09): 166.
- [2] 董炜, 沈金荣, 惠杰, 等. 基于全生命周期管理的微电网设备管理系统 [J]. 机电工程, 2017, 34(11): 1330-1333.
- [3] 张冰雪, 刘婷婷, 汤亚宸, 等. 基于图数据库的电力设备全生命周期管理技术研究 [J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(3): 1-7.
- [4] 刘瑞均. 电网企业深化配网资产全生命周期管理的实践 [J]. 知识经济, 2019(23): 83-84.
- [5] 余伟淳, 李玎. 基于产品全生命周期的电气设备质量管理应用 [J]. 电工电气, 2021(9): 72-74.

火电机组灵活调峰运行策略与优化研究

孙剑平

吉林电力股份有限公司, 吉林 长春 130000

摘要： 本文深入探讨了火电机组灵活调峰运行策略与优化方法，从调峰能力、爬坡速度、启停时间等关键指标出发，分析了火电机组在调峰过程中的主要问题和挑战。通过引入先进的控制算法、技术创新和政策法规的支持，本文提出了一系列优化策略，旨在提高火电机组的灵活性和运行效率。研究表明，通过综合应用这些策略，可以显著提升火电机组的调峰能力，降低运行成本，同时减少环境污染，为电力系统的可持续发展提供有力支持。

关键词： 火电机组；灵活调峰；运行策略；优化方法

Research on Flexible Peak-Regulating Operation Strategy and Optimization of Thermal Power Unit

Sun Jianping

Jilin Electric Power Co., LTD. Changchun, Jilin 130000

Abstract： This paper deeply discusses the flexible peak regulating operation strategy and optimization method of thermal power units, and analyzes the main problems and challenges in the process of peak regulating of thermal power units from the key indicators such as peak regulating capacity, climbing speed and start and stop time. By introducing advanced control algorithms, technological innovation and policies and regulations, this paper proposes a series of optimization strategies aiming to improve the flexibility and operation efficiency of thermal power units. The results show that through the comprehensive application of these strategies, it can significantly improve the peak regulating capacity of thermal power units, reduce the operation cost, reduce environmental pollution, and provide strong support for the sustainable development of power system.

Keywords： thermal power unit; flexible peak regulation; operation strategy ; optimization method

随着能源市场的竞争日益激烈和环保要求的不断提高，火电机组面临着前所未有的挑战。传统的火电机组由于设备结构和运行特点的限制，在应对市场需求变化时存在响应速度慢、调整范围有限、运行成本高昂等问题。特别是在调峰运行过程中，这些问题表现得尤为突出。因此，提高火电机组的灵活性，优化调峰运行策略，已成为当前亟待解决的问题。

一、火电机组调峰能力分析

火电机组的调峰能力主要包括调峰深度、爬坡速度和启停时间等关键指标。调峰深度是指机组在最低负荷和最高负荷之间的调整范围，爬坡速度是指机组负荷变化的速率，启停时间则是指机组从启动到满负荷运行或从满负荷运行到停机所需的时间。这些指标直接反映了火电机组在调峰过程中的灵活性和响应速度。然而，受设备结构和运行特性的限制，火电机组在调峰过程中面临着诸多挑战。例如，锅炉低负荷稳定燃烧问题、脱硝装置低负荷投运问题、汽轮机热应力问题等都限制了机组的调峰深度。此外，机组在启停过程中需要消耗大量的时间和能源，也增加了运行成本。

二、火电机组灵活调峰运行策略

（一）燃烧优化策略

燃烧优化策略在提高火电机组调峰能力方面发挥着至关重要的作用。通过一系列技术手段和策略调整，可以显著提升燃烧效率，降低污染物排放，从而增强机组的调峰能力。具体而言，燃烧优化策略包括调整燃烧参数和改善燃料燃烧条件。调整燃烧参数主要是指对燃料供给量、空气流量、燃烧温度等关键参数进行精确控制，以确保燃料能够充分燃烧。改善燃料燃烧条件则涉及采用先进的燃烧技术和设备，如等离子燃烧器或富氧燃烧器。这些技术可以在低负荷工况下实现稳定燃烧，提高燃烧效率和机组的调峰深度^[1]。通过实施燃烧优化策略，火电机组不仅能够更好

作者简介：孙剑平（1988.05-），男，汉族，籍贯：吉林伊通，本科，现就职于：吉林电力股份有限公司，工程师，研究方向：火电生产运行、调度、指标管理。

地适应电力市场的变化，提高调峰能力，还能降低运行成本和污染物排放，实现经济效益和环境效益的双赢。

（二）负荷调整策略

负荷调整策略在火电机组调峰运行中发挥着至关重要的作用。其核心目标是通过优化机组负荷分配，实现以最低成本满足电力市场需求，从而提高机组的运行效率和经济效益。为实现这一目标，负荷调整策略采用了多种算法和技术手段。线性规划和动态规划是其中较为常用的优化算法。线性规划通过构建目标函数和约束条件，求解出最优的负荷分配方案；而动态规划则考虑了时间因素和负荷变化，能够更准确地反映机组负荷调整的实际情况。此外，负荷调整策略还强调根据市场需求实时调整机组负荷^[2]。通过实时监测和分析电力市场需求的变化，以及机组的运行状态和性能，可以制定出更为合理的负荷调整方案，确保机组在调峰过程中既能满足市场需求，又能保持较高的运行效率和经济性。

（三）控制策略优化

控制策略优化在提高火电机组灵活性方面扮演着至关重要的角色。随着科技的进步，先进的人工智能算法和优化技术被广泛应用于火电机组的控制策略中，显著提升了机组的运行效率和灵活性。神经网络和深度学习算法是其中的佼佼者。这些算法能够通过对手机组运行数据的深度学习和预测，实现对电力市场变化的快速响应。它们能够捕捉到机组运行过程中的微小变化，并据此调整控制策略，确保机组始终运行在最优状态。此外，优化控制策略还可以显著降低机组的运行成本^[3]。通过精确控制机组的负荷、温度和压力等关键参数，可以减少不必要的能耗和排放，从而提高机组的运行效率。这不仅有助于降低企业的运营成本，还能提升机组的市场竞争力。

（四）技术创新

技术创新在提升火电机组灵活性方面发挥着举足轻重的作用。近年来，众多新技术、新理念和新模式被广泛应用于火电机组，为机组的调峰能力和运行效率带来了显著提升。储热技术是一项备受瞩目的创新技术。它通过在机组低负荷时储存热能，在高负荷时释放热能，从而有效平衡了机组的负荷波动，提高了调峰能力。电热锅炉则利用电能将水加热成蒸汽，为机组提供额外的热能支持，进一步增强了机组的灵活性。此外，主再热蒸汽辅助供热技术也是一项重要的技术创新。该技术通过回收利用主再热蒸汽的余热，为机组提供辅助供热，不仅提高了能源利用效率，还减少了环境污染。这些新技术的应用不仅显著提升了火电机组的调峰能力，还降低了运行成本和环境污染^[4]。它们为火电机组的可持续发展注入了新的活力，也为能源结构的转型和升级提供了有力支持。

三、火电机组调峰运行优化方法

（一）设备改造与升级

设备改造与升级在提高火电机组调峰能力方面发挥着举足轻重的作用。通过对关键设备的改造和优化，不仅可以显著提升机

组的运行效率，还能增强其调峰响应速度，从而更好地适应电力市场的波动。以锅炉为例，低氮燃烧改造是一项重要的技术革新。传统的燃烧方式往往伴随着较高的氮氧化物排放，不仅对环境造成污染，还限制了机组的调峰能力^[5]。而通过引入低氮燃烧技术，可以大幅度降低氮氧化物的生成，同时提高燃烧效率。这不仅有助于减少环境污染，还能使锅炉在低负荷工况下保持稳定运行，为机组调峰提供有力支持。汽轮机方面，热应力优化改造同样具有重要意义。汽轮机在运行过程中承受着巨大的热应力，特别是在启停和负荷变化时，热应力的急剧变化可能导致设备损坏。通过进行热应力优化改造，如采用先进的材料、优化结构设计等，可以有效降低汽轮机的热应力水平，从而提高其爬坡速度和启停时间。这意味着机组能够更快速地响应电力市场的变化，提高调峰效率^[6]。此外，设备改造与升级还可以带来其他方面的效益。例如，通过优化设备结构，可以减少能耗和排放，提高能源利用效率；通过引入智能化监测和管理系统，可以实现对设备运行状态的实时监控和预警，降低故障率和维修成本。

（二）热力系统优化

热力系统优化是提高火电机组整体性能的重要途径，其核心在于通过改进热力系统结构、采用高效设备等手段，实现能耗和排放的双重降低。在实际应用中，热力系统优化涉及多个方面。例如，高效换热器的应用可以显著提升热交换效率，从而减少热损失。传统换热器在长时间运行后，往往会出现积灰、结垢等问题，导致换热效率下降。而高效换热器则采用了先进的材料和设计，能够更有效地抵抗积灰和结垢，保持较高的换热效率。这不仅有助于降低机组的能耗，还能提高机组的可靠性和稳定性。此外，热力系统流程的优化也是提升机组性能的重要手段。通过对热力系统流程进行精细分析和调整，可以减少不必要的热损失和能耗。例如，通过优化蒸汽的流动路径和温度分布，可以确保蒸汽在热力系统中的有效利用，减少热损失。同时，还可以根据机组的实际运行状况，对热力系统的控制策略进行调整，以实现更为精准的负荷调节和能量管理。在热力系统优化过程中，还需要考虑设备的匹配性和协调性。不同设备之间的性能差异和相互影响往往会对机组的整体性能产生重要影响^[7]。因此，在进行热力系统优化时，需要对设备进行综合评估和优化设计，以确保其在实际运行中的匹配性和协调性。

（三）智能化管理

智能化管理在提升火电机组灵活性方面展现出了巨大的潜力。通过运用物联网、大数据、人工智能等前沿技术，可以实现对机组的全面、精准、实时的监控和管理，从而显著提高其运行效率和灵活性。在实际应用中，智能化管理带来了诸多变革。例如，通过建立机组运行数据实时监测和分析系统，可以实时收集和分析机组的各项运行数据，如温度、压力、流量等。这些数据经过大数据技术的处理和分析，能够揭示出机组运行的规律和趋势，为管理人员提供决策支持。一旦发现数据异常或潜在故障，系统可以立即发出警报，并自动触发相应的处理机制，从而有效避免故障的发生或扩大。此外，智能化管理还带来了设备维护管理的革新。传统的设备维护往往依赖于人工巡检和经验判断，存

在较大的主观性和不确定性。而智能化管理则可以通过对设备运行数据的实时监测和分析,预测设备的寿命和故障趋势,从而制定更为精准的维护计划。这不仅可以减少不必要的停机时间和维修成本,还能提高设备的可靠性和稳定性。在智能化管理的推动下,火电机组的运行和管理水平得到了显著提升。机组能够更加灵活地适应电力市场的变化,提高调峰能力和运行效率^[8]。同时,智能化管理还有助于降低运行成本和污染物排放,实现经济效益和环境效益的双重提升。

（四）储能辅助调峰

储能辅助调峰作为一种创新的火电机组调峰策略,正在逐步改变电力行业的运营模式。通过在电力系统中集成储能装置,可以有效提升火电机组的调峰能力,确保电网的稳定性和可靠性。以电池储能系统为例,这种储能方式能够在机组低负荷运行时储存多余的电能^[9]。当电网需求增加,机组需要提高出力时,电池储能系统可以迅速释放之前储存的电能,为机组提供额外的电力支持。这种快速响应的能力使得火电机组能够更灵活地应对电力市场的波动,提高调峰效率。抽水蓄能电站则是另一种重要的储能辅助调峰方式。在机组低负荷时段,利用多余的电力驱动水泵

将水抽到高处的水库储存。当电网需求高峰到来时,释放水库中的水通过涡轮机发电,为电网提供电力。这种方式不仅能够有效平衡电力供需,还能在长时间尺度上优化能源配置。储能辅助调峰的应用不仅提升了火电机组的调峰能力,还增强了电力系统的整体灵活性和韧性^[10]。通过引入储能装置,电力系统能够更好地应对突发事件和极端天气条件,确保电力供应的稳定性和可靠性。

四、结论

本文通过对火电机组灵活调峰运行策略与优化方法的研究,提出了一系列提高火电机组灵活性的途径。通过优化控制策略、引入技术创新以及制定有效的政策法规等措施,可以有效提高火电机组的调峰能力,降低运行成本,同时减少环境污染。这将有助于提高电力系统的稳定性、可靠性和经济性,同时也有利于促进能源结构的转型和环境保护。未来,火电机组将更加注重能效、环保和灵活性,通过持续的技术创新和优化控制策略,实现与可再生能源的协调发展。

参考文献

[1]樊星,周健铨,王晓斐. 基于耦合熔融盐储热的火电机组灵活调峰系统设计与实现 [J]. 中国机械, 2024, (20): 56-59.

[2]徐鹏,李战国,姜龙,等. 新型电力系统中火电机组的调峰技术综述 [C] // 2024年北京电机工程学会年度论文集. 华北电力科学研究院有限责任公司;北京华科同和科技有限公司; 2024: 7.

[3]王放放,杨鹏威,赵光金,等. 新型电力系统中火电机组灵活性运行技术发展及挑战 [J]. 发电技术, 2024, 45 (02): 189-198.

[4]刘潇. “三位一体”推进火电机组深度调峰优化控制关键核心技术攻关 [J]. 企业管理, 2023, (S2): 392-393.

[5]宋晓辉,韩伟,王兴,等. 基于高温熔盐储热系统的火电机组深度调峰方案对比及分析 [J]. 热能动力工程, 2023, 38 (11): 63-74+83.

[6]肖中图,马青. 调峰用火电机组空冷系统比较研究 [J]. 节能技术, 2023, 41 (06): 570-575.

[7]王辉,李峻,祝培旺,等. 应用于火电机组深度调峰的百兆瓦级熔盐储能技术 [J]. 储能科学与技术, 2021, 10 (05): 1760-1767.

[8]刘德君. 火电机组深度调峰技术的研究 [J]. 中国设备工程, 2020, (22): 181-183.

[9]王印松,刘萌,刘霜. 深度灵活调峰下火电机组送风系统优化控制 [J]. 动力工程学报, 2020, 40 (08): 621-628+634.

[10]刘刚. 火电机组灵活性改造技术路线研究 [J]. 电站系统工程, 2018, 34 (01): 12-15.

智能电厂建设中的信息技术集成探索

杨宝明

吉林电力股份有限公司长春热电分公司, 吉林 长春 130000

摘 要： 智能电厂建设中的信息技术集成是电力行业智能化转型的关键。本文探讨了智能电厂建设中信息技术集成，通过机器互联、软件及大数据分析，智能电厂实现了生产高效性与稳定性的提升，并形成了具备自学习、自适应等能力的智能发电运行控制管理模式。本文还分析了信息技术集成在智能电厂各层级（如智能感知层、智能控制层、智慧管控层）的应用，以及其在提高生产效率、优化资源配置、保障安全生产等方面的作用。智能电厂的信息技术集成不仅推动了电力行业的创新发展，也为构建清洁、低碳、高效的能源体系提供了有力支撑。

关 键 词： 智能电厂；信息技术集成；物联网；大数据

Exploration of Information Technology Integration in the Construction of Intelligent Power Plant

Yang Baoming

Jilin Electric Power Co., LTD. Changchun Thermal power branch, Changchun, Jilin 130000

Abstract： The information technology integration in the construction of intelligent power plant is the key to the intelligent transformation of the power industry. This paper discusses the integration of information technology in the construction of intelligent power plant. Through machine interconnection, software and big data analysis, the intelligent power plant has realized the improvement of production efficiency and stability, and formed the intelligent power generation operation control management mode with self-learning, self-adaptation and self-capabilities. This paper also analyzes the application of information technology integration at all levels of intelligent power plants (such as intelligent perception layer, intelligent control layer, intelligent control layer), as well as its role in improving production efficiency, optimizing resource allocation, and ensuring safe production. The information technology integration of smart power plants not only promotes the innovative development of the power industry, but also provides strong support for the construction of a clean, low-carbon and efficient energy system.

Keywords： intelligent power plant; information technology integration; Internet of Things; big data

随着信息技术的飞速发展，各行各业都在经历着数字化、智能化的转型。电力行业作为国民经济的重要支柱，也不例外。智能电厂的建设是电力行业迈向智能化、高效化、环保化的重要一步。智能电厂通过集成物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术，实现了生产运营的智慧化管理，推动了可再生能源的生产智能化，提升了电厂的安全性、经济性和环保性。

一、智能电厂概述

智能电厂是基于“云大物移智”（云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能）等新一代信息技术，实现风电、光伏、水电生产运营的智慧化管理。通过高度自动化、功能融合、信息共享的一体化平台管控，推动可再生能源生产智能化，实现电厂生产、安全、经济和环保指标综合最优目标。智能电厂的建设不仅涵盖了发电环节，更延伸到了输电、配电和用电的全过程，旨在实现电力系统的全面智能化管理和优化运行^[1]。其应用构架设计巧妙，分为通用智慧应用系统和适应各发电方式特点的智能化

应用两个层级。通用智慧应用系统涵盖了安全生产监控、企业OA、综合安防、安监管理、巡检管理以及指挥调度等多个方面，为电厂的日常运营提供了全方位的智能化支持。

二、智能电厂建设中的信息技术集成

（一）物联网技术

物联网技术将前端感知设备延伸到电厂的每个角落，实现了对电厂设备和环境的实时监测和监控^[2]。通过安装传感器、RFID标签等设备，物联网技术能够实时采集电厂设备的运行状态、环

境参数等信息，并通过无线网络传输到数据中心进行分析和处理。物联网技术在智能电厂中的应用包括设备状态监测、环境监测、能耗监测等。通过实时监测设备的振动、温度等参数，物联网技术能够提前预警设备的故障，避免事故的发生。同时，物联网技术还能够监测电厂的环境参数，如温度、湿度、气体浓度等，确保电厂的安全运行。

（二）大数据技术

大数据技术为智能电厂提供了强大的数据处理和分析能力。智能电厂在运行过程中会产生大量的数据，包括设备状态数据、环境监测数据、能耗数据等。大数据技术能够对这些数据进行实时采集、存储、分析和处理，挖掘出数据中的价值，为电厂的决策提供科学依据^[9]。大数据技术在智能电厂中的应用包括数据可视化、数据挖掘、数据预测等。通过数据可视化技术，可以将大量的数据以图形、图表等形式展示出来，使电厂的管理人员能够直观地了解电厂的运行情况。

（三）云计算技术

云计算技术为智能电厂提供了高效、灵活的计算和存储资源。智能电厂需要处理大量的数据，云计算技术能够提供可扩展的计算和存储能力，满足电厂对计算资源的需求^[10]。同时，云计算技术还能够实现数据的共享和协同，提高电厂的运行效率和管理水平。云计算技术在智能电厂中的应用包括云计算平台、云存储、云服务等。云计算平台能够提供虚拟化的计算和存储资源，使电厂能够根据需要动态调整计算资源。云存储技术则能够实现数据的集中存储和管理，提高数据的安全性和可靠性。云服务则能够为电厂提供定制化的解决方案，满足电厂的个性化需求。

（四）人工智能技术

人工智能技术为智能电厂提供了智能化的决策和优化能力。通过应用人工智能技术，智能电厂能够实现对设备和环境的智能监测、预警和诊断，提高电厂的安全性和可靠性。同时，人工智能技术还能够实现生产过程的智能优化，提高电厂的经济性和环保性。人工智能技术在智能电厂中的应用包括机器学习、深度学习、自然语言处理等^[11]。机器学习技术能够通过分析历史数据，建立预测模型，实现对设备和环境的智能预测和预警。深度学习技术则能够通过深度神经网络，实现对图像、声音等复杂数据的识别和分析。

（五）UWB及5G技术

在智能电厂建设中，UWB（超宽带）与5G技术的集成应用为电厂的智能化转型提供了强大的技术支持。UWB技术以其高精度定位能力，在智能电厂中发挥着至关重要的作用。通过UWB定位技术，电厂可以实现对现场人员的精准定位，实时追踪其移动轨迹，并在三维地图上清晰展示。这不仅有助于电厂提高安全管理水平，确保人员行为可控、位置可视，还能在紧急情况下迅速定位人员位置，提高应急响应速度。5G技术则以其高速率、低延迟、广连接的特点，为智能电厂提供了高效、可靠的数据传输通道。在智能电厂中，5G技术可以支持大量设备的同时连接，实现数据的实时传输和共享。通过将UWB定位数据通过5G网络传输到用户中心，电厂可以实现对现场人员的远程监控和管理。

（六）APS及神经网络智能AGC

在智能电厂建设的宏大蓝图中，信息技术集成扮演着至关重要的角色，其中APS（Advanced Planning and Scheduling，高级计划与排程）与神经网络智能AGC（Automatic Generation Control，自动发电控制）的结合更是为电厂的智能化运营开辟了新篇章。APS系统，凭借其强大的计划与排程能力，能够基于电厂的实时运行数据、历史数据以及外部市场因素，精确预测并优化发电计划，确保电厂在满足市场需求的同时，实现资源的最优化配置。神经网络智能AGC，则是在传统AGC系统的基础上，融入了深度学习、神经网络等前沿人工智能技术。它不仅能够实时监测电网的负荷变化，自动调节发电机的输出功率以保持电网的频率和电压稳定，还能够通过学习历史数据和实时数据，预测未来的负荷趋势，提前调整发电策略，实现更加精准和高效的发电控制。

三、智能电厂的应用

（一）安全生产监控

智能电厂通过集成视频监控、入侵报警、门禁系统、巡更系统等安全子系统，实现了对电厂的安全生产监控。通过实时视频监控和报警系统，电厂的管理人员能够及时发现和处理安全隐患，确保电厂的安全运行^[12]。例如，电厂的视频监控系统可以采用分布式监控集中管理的模式，在电厂的各个关键区域安装网络存储视频服务器，通过摄像机采集图像，并通过联通3G/4G、WIFI等接入方式将视频信号传输到监控中心系统平台上进行集中监控管理。这样，电厂的管理人员能够通过视频实时了解电厂的运行情况，发现问题及时进行处理。

（二）设备状态监测

智能电厂通过物联网技术和大数据技术，实现了对设备状态的实时监测和分析。通过在设备上安装传感器和RFID标签等设备，智能电厂能够实时采集设备的振动、温度等参数，并通过无线网络传输到数据中心进行分析和处理。通过对设备状态数据的分析，智能电厂能够提前预警设备的故障，避免事故的发生。同时，智能电厂还能够根据设备的运行状态，优化设备的维护计划，提高设备的可靠性和使用寿命。

（三）能耗管理

智能电厂通过集成能耗监测系统和能源管理系统，实现了对电厂能耗的实时监测和管理。通过实时监测电厂的能耗数据，智能电厂能够及时发现能耗异常，采取相应的措施进行节能降耗^[13]。例如，智能电厂可以通过数据分析，找出能耗高的设备和区域，采取相应的节能措施，如优化设备运行参数、改进工艺流程等。同时，智能电厂还可以通过能源管理系统，实现对电厂能源的优化分配和调度，提高能源利用效率。

（四）环境监测

智能电厂通过物联网技术和大数据技术，实现了对电厂环境的实时监测和分析。通过在电厂的各个关键区域安装传感器，智能电厂能够实时采集环境参数，如温度、湿度、气体浓度等，并

通过无线网络传输到数据中心进行分析和处理。通过对环境参数的分析,智能电厂能够及时发现环境问题,采取相应的措施进行处理。例如,当电厂的环境温度过高时,智能电厂可以自动启动冷却系统,降低环境温度^[8]。同时,智能电厂还可以通过环境监测数据,优化电厂的运行参数,减少对环境的影响。

四、智能电厂的环保与可持续发展策略

(一) 智能电厂的环保技术应用

在环保技术应用方面,智能电厂采用了多种先进技术来减少污染物的排放,保护生态环境。脱硫脱硝技术是其中的重要一环。通过采用先进的脱硫脱硝设备和技术,智能电厂能够显著降低二氧化硫和氮氧化物的排放,有效减轻大气污染。这些设备和技术不仅高效稳定,还能根据电厂的实际运行情况进行灵活调整,确保排放达标^[9]。除尘技术也是智能电厂环保工作的重要组成部分。高效的除尘设备能够捕获并去除烟气中的粉尘颗粒,降低粉尘排放浓度,保护大气环境。这些除尘设备通常采用静电除尘、布袋除尘等先进技术,具有除尘效率高、运行稳定等特点。废水处理技术同样不可或缺。智能电厂通过采用先进的废水处理工艺和设备,对电厂产生的废水进行深度处理,确保废水在达标排放的同时,还能实现循环利用。这不仅减少了对水资源的消耗,还降低了废水对环境的污染。

(二) 智能电厂的智能化环保管理

智能电厂在环保管理领域,凭借其高度智能化的手段,实现了对环保工作的精细化、智能化和高效化管理。其中,环境监测与预警系统发挥着举足轻重的作用^[10]。该系统如同智能电厂的“环保卫士”,能够实时监测电厂周边的环境质量,包括但不限于空气质量、水质等关键指标。借助先进的传感器技术和物联网技术,系统能够捕捉到微小的环境变化,及时发现并预警可能的环境污染事件。这不仅有助于智能电厂及时采取应对措施,防止污染扩散,还能为周边居民和生态环境提供有力保障。排放控制与优化同样是智能电厂环保管理的关键环节。智能电厂通过智能调整排放参数,如烟气温度、流量等,实现了对排放物的精准控制。这种控制方式不仅确保了排放物的达标排放,还大大降低了对环境的污染。此外,智能电厂还充分利用大数据分析等技术手

段,对排放数据进行深度挖掘和分析。

(三) 智能电厂的可持续发展路径

智能电厂作为未来能源体系的重要组成部分,其可持续发展路径至关重要。这一路径涵盖了推动清洁能源发展、提高能源利用效率、加强环保技术创新以及推动绿色转型等多个方面,旨在实现经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。在推动清洁能源发展方面,智能电厂正积极响应国家能源政策,逐步加大清洁能源发电比例,如风电、光伏等可再生能源的接入和利用。这不仅有助于降低碳排放,减轻对化石能源的依赖,还能促进能源结构的优化升级,为构建绿色低碳的能源体系奠定基础。提高能源利用效率是智能电厂可持续发展的关键所在。通过智能化管理手段,智能电厂能够实时监测和优化能源利用过程,包括发电、输电、配电等各个环节。通过数据分析、模型预测等技术手段,智能电厂能够精准调整能源利用策略,降低能耗和排放,提高能源利用效率。加强环保技术创新也是智能电厂可持续发展的重要支撑。智能电厂注重环保技术的研发和应用,持续投入研发资金,推动环保技术的创新和发展。通过引进和自主研发相结合的方式,智能电厂不断推出更加高效、环保的发电技术和设备,为环保事业贡献力量。

五、结论

智能电厂的建设是电力行业迈向智能化、高效化、环保化的重要一步。通过集成物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术,智能电厂实现了生产运营的智慧化管理,推动了可再生能源的生产智能化,提升了电厂的安全性、经济性和环保性。未来,智能电厂将朝着更加智能化、高效化、环保化的方向发展。通过提升智能化水平、构建能源互联网、加强环保技术应用和智能化管理手段,智能电厂将实现更加清洁、高效的能源生产,为电力行业的可持续发展做出重要贡献。同时,智能电厂的建设也面临着诸多挑战,如技术更新迭代快、数据安全与隐私保护、人才培养与引进等。因此,需要政府、企业和社会各界共同努力,加强合作与交流,推动智能电厂技术的不断创新和应用,为电力行业的智能化转型和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 胡再新, 周裕宏. 智能化电厂建设探索——以某2×1000 MW 超超临界火电机组为例[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(07): 221–224+227.
- [2] 田景奇, 冯树臣, 郑文军, 等. 基于“三黑”理念的新一代智能电站建设路径分析[J]. 能源科技, 2024, 22(01): 37–41.
- [3] 郭廷锦. 智能电厂数据平台建设探索[J]. 能源与环境, 2023, (06): 41–43.
- [4] 崔喆, 顾玉顺, 余佳琳, 等. 智能电厂建设现状及展望[J]. 能源与节能, 2023, (11): 33–36+99.
- [5] 李维聪, 胡玉涛, 李伟. 基于大数据平台的智能电厂数据及系统集成方案研究[J]. 南方能源建设, 2022, 9(04): 143–149.
- [6] 白忠贺, 吴科, 王鹏, 等. 基于云计算的智能电厂分布式存储方法研究[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(12): 105–107.
- [7] 靳帅. 基于智能自主、人机协同愿景下的智慧电厂建设研究与实践[J]. 水电与新能源, 2022, 36(01): 63–65.01.013.
- [8] 郭延勇. 大数据背景下智能电厂建设中的员工培训[J]. 中国电力教育, 2021, (12): 50–52.
- [9] 陈录, 齐全友, 吴扬扬, 等. 智慧电厂建设与智能发电技术应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(23): 174–176.
- [10] 杨洋, 袁建丽, 周勇. 智能电厂管控平台建设实践[J]. 新型工业化, 2021, 11(01): 138–140.

基于无人机遥感技术的电力巡检方案探讨

刘建蓝

福建永福电力设计股份有限公司, 福建 福州 350108

摘 要： 电力巡检工作开展, 关系到了供电稳定性, 对于社会经济发展而言, 起到了至关重要的影响。电力巡检工作开展应对巡检方案进行科学、合理地制定, 确保电力巡检方案的科学性、合理性, 为电力巡检工作高效、高质地开展提供重要的参考及指引。本文在对电力巡检方案制定问题研究中, 注重对无人机遥感技术进行有效的运用, 对传统的电力巡检工作模式、方法进行创新及优化, 充分地发挥无人机遥感技术的优势, 提升电力巡检工作开展的实效性。

关 键 词： 无人机遥感技术; 电力巡检方案; 智慧巡检

Exploration of Power Inspection Scheme Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology

Liu Jianlan

Fujian Yongfu Power Design Co., Ltd. Fuzhou, Fujian 350108

Abstract： The implementation of power inspection work is related to the stability of power supply and has a crucial impact on social and economic development. To carry out power inspection work, a scientific and reasonable inspection plan should be formulated to ensure the scientificity and rationality of the power inspection plan, providing important reference and guidance for the efficient and high-quality development of power inspection work. In the research on the formulation of power inspection plans, this article focuses on the effective application of unmanned aerial vehicle remote sensing technology, innovates and optimizes traditional power inspection work modes and methods, fully utilizes the advantages of unmanned aerial vehicle remote sensing technology, and improves the effectiveness of power inspection work.

Keywords： unmanned aerial vehicle remote sensing technology; power inspection plan; smart inspection

前言

遥感技术在探测领域中有着十分重要的作用, 这一项技术能够提升探测工作的开展效果及质量, 并且能够有效地应对探测工作面临的复杂环境, 做好探测信息的收集及处理。无人机遥感技术实现了“无人机+遥感技术”的发展模式, 借助于无人机的优势, 能够在任意地点、任意时刻进行拍摄, 提升探测工作的效率及质量, 并且运用无人机后, 能够对探测地域的图片进行清晰获取, 从而使遥感技术的功能及作用得到更加有效地发挥。无人机遥感技术运用于电力巡检工作当中, 应注重对该技术手段的运用优势进行发挥, 对传统的遥感技术应用方式进行创新及优化, 以确保电力巡检工作开展的效率及质量, 为电力行业稳定、健康发展提供重要的数据支撑。

一、无人机遥感技术概述

(一) 无人机遥感技术简介

无人机遥感技术实现了“无人机+遥感技术”的发展模式, 在探测领域中运用, 能够更好地应对复杂的探测环境, 提升探测工作开展的效率及质量。对于无人机遥感技术的把握应注重从技术组成、通讯技术、信息获取方式等方面入手, 对无人机遥感技术的内容、功能、作用做好把握^[1]。从技术层面来看, 无人机遥感技术将传感技术、通讯技术、遥控技术、遥感对应的应用技术、GNSS技术进行了综合, 强化技术整合, 使技术功能及作用得到更加有效地发挥。同时, 从无人机遥感技术获取数据信息的方

式来看, 其实现了智能化、自动化、专题化的发展模式, 实现对信息的精准、自动获取, 确保数据信息功能及作用得到更加有效地发挥。从信息获取种类视角来看, 在信息获取过程中, 能够对环境信息、国土信息、资源信息进行获取, 能够应对探测领域的实际需要^[2]。除此之外, 无人机遥感技术在运用时, 有着起飞速度快、成本低廉、结构简单的特点。由此可见, 无人机遥感技术在技术层面上实现了创新及优化, 确保无人机遥感技术在实际运用过程中, 能够更好地满足数据探测的需求。

(二) 无人机遥感技术优势分析

无人机遥感技术在运用时, 相对于传统的技术手段而言, 其运用优势表现在以下几个方面:

作者简介: 刘建蓝 (1984.10—), 男, 汉族, 河南省潢川县, 高级工程师, 大学本科, 研究方向: 遥感、测绘技术及在电力领域的应用。

(1) 应对复杂的探测环境。无人机遥感技术运用时,不需要载人,其可以飞到较高或是较为危险的区域进行航拍,从而对复杂的探测环境进行航拍,为电力巡检工作开展提供数据支撑。

(2) 无人机在运用时,相对于载人飞行器相比,其能够大幅节约航拍成本,获取数据信息所消耗的资金较为低廉。

(3) 在航拍工作开展时,无人机具备更高的安全性,并且在数据信息获取时,通过远程操控、智能化控制的方式,能够更好地执行任务,保证数据信息获取的安全性及可靠性。

(4) 航拍工作效率更高。在进行电力巡检工作开展时,无人机遥感技术运用有着更高的工作效率,其可以进行重复拍摄,并且在拍摄的时候,耗费的时间相对较短,成像的效果也更加清晰^[3]。

二、无人机遥感技术应用于电力巡检工作的必要性分析

(一) 政策的认可与支持

在开展电力巡检工作时,考虑到当前电力巡检工作面临的复杂形势,加强技术创新及优化,成为电力巡检工作开展应关注的一个重要内容。结合这一导向,国家在推进电力巡检工作开展时,注重鼓励企业对无人机遥感技术进行推广及运用,以此对电力巡检工作进行优化及创新,确保电力巡检工作开展具有更高的效率及质量。通过加强无人机遥感技术的实际运用,有效地保障电力设备的稳定、可靠运行,并且推进技术研发及相关产业化发展^[4]。

(二) 行业标准及规范化发展需要

在电力巡检工作开展过程中,为了提升电力巡检工作的效率及质量,政府部门制定了一系列的电力巡检方案,推进电力巡检工作得到标准化、规范化的发展。在相关标准制定当中,涉及了无人机遥感技术的运用。对此,将无人机遥感技术运用于电力巡检工作中十分必要,为电力巡检工作高效、高质地开展提供强有力的支持^[5]。

(三) 电力巡检工作业务发展需要

在新形势下,电力巡检工作开展过程中,应注重提升巡检效率及巡检质量,并且确保电力巡检工作得到安全、可靠地开展。针对这一需要,加强无人机遥感技术运用,能够在设备检测时,对设备运行状况做好探测分析,对设备出现的故障问题进行及时、有效地反馈,为电力设备的稳定运行提供强有力的支持。同时,在电力巡检工作开展过程中,一些地区的环境相对复杂,并且需要进行高空作业,这导致巡检人员面临着较大的安全隐患问题。通过运用无人机遥感技术,能够对这些问题做好有效地应对,保证电力巡检工作的安全性。除此之外,随着时代形势的发展变化,电力巡检工作呈现出数字化、智能化的发展特征。无人机遥感技术的有效运用,在推进电力巡检工作智能化、数字化发展方面,起到了积极的促进作用。通过运用无人机遥感技术,能够实现电力巡检工作的智能化开展,对电力设施进行精准运维和预测性运维^[6]。

三、基于无人机遥感技术运用视角下电力巡检方案设计分析

(一) 案例概述

本次研究工作开展,针对无人机遥感技术运用于电力巡检方案的探索,注重对无人机遥感技术的优势进行发挥,提升电力巡检工作开展的效率及质量。研究过程中,本次案例运用“一体三翼”的思想,注重设计多层次、多维度的巡检方案,从而对电力设施的运行情况做好把握,凸显智能化、标准化的巡检方案制定。

(二) 无人机遥感技术运用视角下电力巡检方案设计

1. 做好无人机巡检的顶层设计

在将无人机遥感技术运用于电力巡检工作当中,注重从顶层设计层面入手,凸显电力巡检方案制定的目标,对电力巡检工作的各个环节做好针对性把握,以针对性地提升电力巡检工作开展的效率及质量^[7]。在顶层设计上,联系“一体三翼”的思想,无人机遥感技术的电力巡检方案整体情况设计如下:

(1) 注重做好战略定位及目标设定工作。在本次电力巡检方案设计时,注重把握战略定位,以无人机遥感技术的运用,对电力巡检工作进行创新及优化,充分地发挥无人机技术的运用优势,推进电力巡检工作朝着智能化、数字化的方向发展。在无人机遥感技术运用时,注重制定长远发展目标,运用无人机替代传统的人工巡检方式。同时,结合无人机遥感技术运用,制定切实可行的执行计划,对电力系统中存在的安全隐患问题做好排查,保证电力系统稳定地运行。

(2) 加强管理制度建设与标准化建设工作。无人机遥感技术运用于电力巡检工作当中,要重视强化管理工作及标准化建设工作,确保电力巡检工作的顺利开展。在这一过程中,应围绕无人机巡检的规章制度建设问题入手,注重对现行标准做好把握,联系无人机飞行、电力设施保护、数据安全等相关规范内容,对无人机巡检的管理制度予以明确,做好有效地管理,以保证无人机遥感技术在电力巡检中的功能及作用得到有效的发挥。

通过做好顶层设计,从整体视角入手,确保无人机遥感技术在电力巡检工作中得到有效的运用,保证电力巡检工作得到有效的开展,做好数据信息的采集及电力设备的保护工作。

2. 强化设备层巡检工作开展有效开展

设备层巡检工作开展,是电力巡检方案制定中的重要一环,主要对无人机遥感技术进行运用,采取实地巡检的方式,对电力设备的运行情况进行有效的监测。设备层巡检工作开展,运用无人机搭载红外热像仪、高清摄像头等设备,之后对输电线路、配电网设备进行空中巡视,通过运用传感器对设备的运行状态以及环境参数信息进行获取。设备层巡检工作开展时,应把握以下几项内容:

(1) 开展无人机网格化巡检工作。在网格化巡检时,主要结合电网分布情况,将巡检区域划分为网格单元,每一个网格单元对应一个特定的无人机巡检任务。在网格化巡检过程中,应考虑到无人机的续航能力、载荷特性等,并制定切实、可行的巡检计

划及巡检航线，以保证巡检工作的顺利开展^[8]。

(2) 明确电力巡检工作开展目标。在电力巡检工作开展时，凸显无人机遥感技术在电力巡检工作中的重要地位，将无人机遥感技术与电力巡检数字化、智能化发展目标做好结合，提升无人机巡检工作的效率及质量。在巡检工作开展时，注重对网格点进行选取。这一过程中，主要根据电网设施的布局情况，对网格区域进行合理规划，保证巡检工作得到全面、有效地开展，不留死角和盲区。

(3) 做好无人机遥感技术运用的机巢建设工作。无人机遥感技术运用时，机巢建设会对无人机遥感技术运用产生重要的影响。在机巢建设时，要做好选址定位工作。这一过程中，主要根据电力巡检的网格点布局情况，使无人机在航拍后能够快速返回机巢，做好能源的补充工作。在无人机机巢建设时，要注重结合地理环境、安全因素、通信条件等进行考虑，保证无人机遥感技术能够高效、高质地执行任务。

(4) 强化可视化监控工作的开展。无人机遥感技术融入电力巡检工作当中，借助于可视化监控手段的运用，保证无人巡检工作高质量发展。可视化监控工作开展时，一是强调规模化的图像监测装置设计，注重对巡检区域的情况做好监控，如针对重要线路、特殊线路、特殊时期情况做好监控，保证巡检工作顺利开展。二是采取间歇式的监拍方式。在进行电力巡检工作开展时，通过根据巡检工作的实际需要，把握好时间间隔，采取触发式的图像采集及传输方式，对巡检资源进行优化配置，以保证巡检工作的顺利开展。除此之外，在无人机巡检过程中，对于特定气候、特定风险区域注重采取周期性的图像采集方式，以提升监控工作开展的质量^[9]。

3. 建立起高效的数据层巡检工作模式

无人机遥感技术视角下的电力巡检工作开展时，要注重建立起高效的数据层巡检工作模式，做好数据传输与存储，并通过数据分析和诊断工作开展，对电力系统故障及问题做好把握，以提

升电力系统运维工作开展质量。数据层巡检工作开展过程中，应把握以下几项内容：

(1) 做好数据传输与存储工作。数据传输与存储工作开展时，利用无人机搭载高清摄像头、红外热像仪，获取电力巡检的原始数据，将其上传到云端服务器，并对获取的数据信息做好存储。

(2) 在数据分析工作开展时，结合获取的原始数据信息，运用大数据分析技术，做好电力设备情况的评估分析。这一过程中，可以通过对设备温度、设备故障模式、设备预警模型等运用，做好数据信息的快速处理，对设备故障问题及时地发现，并做好设备故障问题的智能化分析，快速地做出反馈。

(3) 对数据信息进行可视化展示，输出报表信息。在运用大数据分析技术做好电力巡检数据处理后，运用 GIS 等工具对巡检数据进行可视化呈现，从而为管理人员提供数据支持。同时，生成电力巡检报告，对设备状态评估、趋势分析等内容呈现，为后续设备检修工作提供决策依据^[10]。

四、结束语

综合上述分析来看，电力巡检工作开展过程中，应注重对当前电力行业的发展形势、发展特点做好把握，注重对电力巡检工作的技术手段进行创新及优化，积极运用无人机遥感技术，提升电力巡检工作的效率及质量。通过运用无人机巡检技术，实现电力巡检工作数字化、智能化发展目标，提升电力系统管理及运维水平，以保证电力巡检工作得到稳定地运行。本次研究通过探索无人机遥感技术的电力巡检方案，使无人机遥感技术与电力巡检工作进行紧密结合，从技术层面做好创新及优化，提升电力巡检的实效性，并借助于无人机遥感技术运用，推进电力行业节能减排、提质增效的发展。

参考文献

[1] 彭军, 黄小春, 毛鹏鹏, 任博嘉, 朱洋. 基于5G技术的无人机电力巡检应用探索 [J]. 长江信息通信, 2023, 36(10): 201-203.

[2] 张保平, 田启泉, 彭勇. 基于改进 YOLOv4 的无人机电力巡检障碍物目标检测研究 [J]. 现代传输, 2024, (04): 56-59.

[3] 杨芳, 郑维龙. 基于无人机遥感技术的电力巡检方案研究 [J]. 晋城职业技术学院学报, 2024, 17(04): 85-88.

[4] 赵慧敏, 罗贺, 阴西龙, 林世忠, 王国强. 面向集合任务的多无人机电力巡检任务分配方法研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1-23.

[5] 韩洪豆, 王志贺. 电力系统无人机全自动精细化巡检方案探讨 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(08): 55-57+61.

[6] 陈诚, 戴永东, 沈筠, 杨振伟, 于磊. 基于无人机遥感技术的配电网巡检系统设计 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39(05): 107-110.

[7] 刘枫琪, 汪鼎杰, 杨磊, 高阳, 孟斌. 无人机电网巡检关键技术研究及展望 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2024, (01): 94-97.

[8] 郭庆华, 胡天宇, 刘瑾, 金时超, 肖青, 杨贵军, 高显连, 许强, 谢品华, 彭炯刚, 闫利. 轻小型无人机遥感及其行业应用进展 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(09): 1550-1569.

[9] 赖叶茗, 杨杰, 劳全, 叶盛, 陶晰, 符灵. 多旋翼无人机电力线路巡检及树障研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (04): 91-93.

[10] 陈诚, 戴永东, 沈筠, 杨振伟, 于磊. 基于无人机遥感技术的配电网巡检系统设计 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39(05): 107-110.

平面平晶检测安全阀密封面平面度工艺的简介及应用

郑伟静, 梁超, 李伟明

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 通过对平面平晶检测安全阀密封面平面度工艺的步骤、原理、优点及注意事项进行介绍, 并对其应用及效果进行阐述, 表明该工艺是目前较合适的安全阀密封面平面度检测工艺, 并给出在安全阀检修中应用该工艺的建议, 以实现安全阀良好密封, 保障系统安全稳定运行。

关 键 词 : 平面平晶; 干涉条纹; 安全阀; 平面度

Brief Introduction and Application of Plane Flat Crystal Detection Technology for Flatness of Safety Valve Sealing Surface

Zheng Weijing, Liang Chao, Li Weiming

China Nuclear Power Operation Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : This paper introduces the steps, principles, advantages and precautions of the plane flat crystal detection technology for the flatness of safety valve sealing surface, and expounds its application and effect. It shows that this technology is a suitable technology for the flatness detection of safety valve sealing surface, and gives suggestions on the application of the technology in the maintenance of safety valves, so as to achieve good sealing of safety valves and ensure the safe and stable operation of the system.

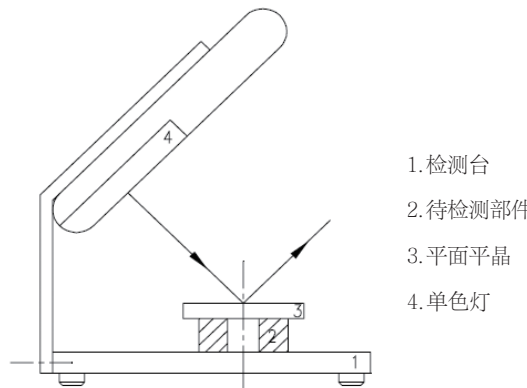
Keywords : plane flat crystal; interference fringes; safety valve; flatness

传统的安全阀密封面平面度检测工艺有红丹粉、蓝油、塞尺检测等, 存在检测精度低和可靠性低的问题, 且部分检测工艺存在损伤密封面的风险, 因此这些检测工艺已较少使用。目前大部分安全阀平面度通过使用安全阀校验台进行密封试验来间接检测, 该检测工艺可较好的从密封功能实现角度确认阀门密封面平面度满足要求^[1], 因此得到了广泛应用, 但该工艺存在局限性, 比如对于焊接安装在现场的安全阀, 如采取此工艺进行平面度检测, 需将安全阀从现场切割拆卸后, 再在车间焊接安装法兰才能进行密封试验, 试验合格后需再次切割法兰再焊接回装至现场, 不仅工作繁琐, 还存在焊接导致安全阀密封面变形造成阀门泄漏导致系统失去保护功能的风险, 因此, 对于此类安全阀, 一般采用平面平晶干涉工艺检测平面度^[2]。

一、工艺简介

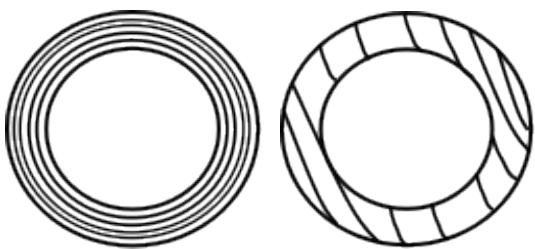
(一) 步骤

平面平晶干涉工艺简要步骤为: 安全阀密封面研磨完成经目视检查无划痕、磕碰等缺陷后, 将密封面擦拭干净参照图1所示布置进行平面度检查, 如平面度较好则会在平面平晶上显示如图2所示的其中1种干涉条纹图像, 图2左边图像为同心干涉图像, 干涉条纹数量为整个密封面上的暗条纹数量(暗条纹相较亮条纹更好辨认, 读数更精确), 图2右边图像为偏心干涉图像, 干涉条纹数量为半个密封面上的暗条纹数量, 干涉条纹数量与每条条纹对应的平面度相乘即为该密封面的平面度^[3]。



> 图1 平面度检查示意图

作者简介: 郑伟静(1988-), 男, 汉族, 浙江省丽水市人, 本科, 中广核核电运营有限公司, 工程师, 研究方向: 核电厂阀门维护管理及相关策略优化。



> 图2 干涉图像示意图

(二) 原理分析

平面平晶干涉工艺使用光的干涉原理进行密封面平面度检测，其基于光波叠加原理，在干涉场中产生亮暗交替的干涉条纹，通过分析干涉条纹形态及数量测得密封面平面度。将密封面沿圆周方向等分成无限小份，平面平晶放置其上时，每份密封面同平面平晶形成如图3所示的劈尖干涉^[4]。当单色灯发出的平行光由折射率为 n_1 的平面平晶垂直入射折射率为 n 的劈尖，在劈尖上表面（平面平晶工作面）处，一部分光线 α 会反射，另一部分光线 α' 会折射进入劈尖内部，如果劈尖夹角 θ 很小，可认为反射光线原路返回，折射光线垂直于劈尖下表面（密封面），折射光线经劈尖下表面反射后进入劈尖上表面，继而折射并出射于平面平晶，在入射点与反射光线发生干涉，人眼即可在平面平晶上看见干涉条纹，用单色光源时呈现亮暗交替的干涉条纹，若正好波峰遇到波峰或波谷遇到波谷，亮度最强，呈现亮条纹，若波峰遇到波谷，亮度最暗，呈现暗条纹，最亮和最暗形成干涉条纹^[5]。

由图3可得，入射点的光程差：

$$\delta = 2nh + \frac{\lambda}{2} = 2h + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

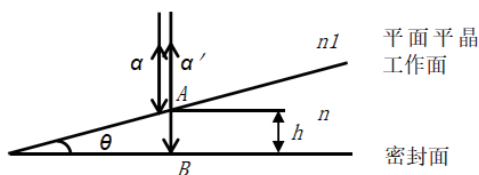
式(1)中 n 为空气劈尖折射率，为1； h 为入射点至密封面反射点间的劈尖厚度； λ 为单色光波长； $\frac{\lambda}{2}$ 为光疏介质（空气）入射光密介质（平面平晶）的半波损失（ $n < n_1$ ）。

则暗条纹的光程差：

$$\delta = 2h + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k=0,1,2\cdots \quad (2)$$

暗条纹处的劈尖厚度：

$$h = \frac{k\lambda}{2}, k=0,1,2\cdots \quad (3)$$



> 图3 劈尖干涉示意图

相邻暗条纹所对应的劈尖厚度之差（即平面度，如图4所示）：

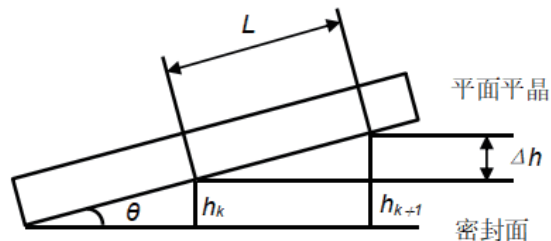
$$\Delta h = (k+1)\frac{\lambda}{2} - \frac{k\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

相邻暗条纹间距：

$$L = \frac{\Delta h}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (5)$$

由式(5)可知：条纹为等间距分布；劈尖夹角 θ 越小，条纹

越疏（对应密封面平面度越好），反之越密，如角度 θ 过大，条纹将密集到难以分辨，即看不到干涉条纹。



> 图4 劈尖厚度及条纹间距示意图

无数个劈尖干涉的条纹组成了检测时所看到的图像（如图2所示）。通过数暗条纹即可量化评估密封面平面度。由于使用的单色灯为钠光灯，其发出的光波长 λ 为 $0.5893\mu\text{m}$ ，而相邻两条暗条纹平面度之差为 $\frac{\lambda}{2}$ ，近似为 $0.3\mu\text{m}$ 。因此，暗条纹数量乘以 $0.3\mu\text{m}$ 即为密封面的平面度^[6]。

(三) 优点及注意事项

综合分析可知，平面平晶干涉工艺检测精度较高，其量化评价平面度可达到微米级别，且可提供直观的图像，便于对密封面进行评估和分析，进而对密封面的研磨修复提供参考。由其原理可知，若劈尖内部存在杂质颗粒，干涉图像会受干扰，可能导致作业人员将平面度合格的密封面判定为不合格，进而重复研磨，造成人力、物力的浪费，因此，该工艺使用时需将平面平晶工作面和密封面清理干净。同时需注意平面平晶为玻璃制品，拿取时应轻拿轻放，避免磕碰损伤，其在密封面上时不可平移，避免两者滑动摩擦互相损伤^[7]。

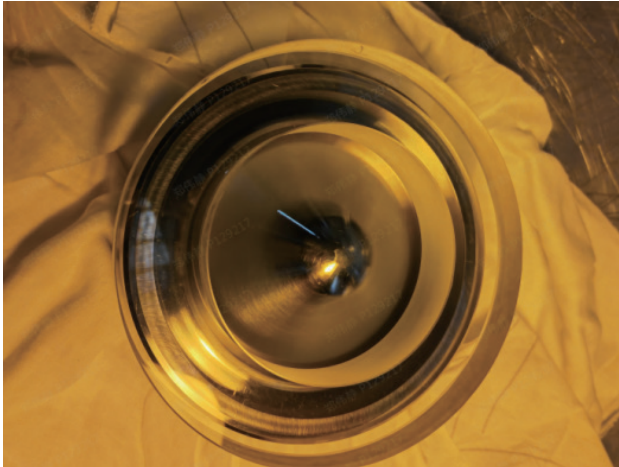
二、工艺应用及效果

以国内某核电厂为例，该工艺主要应用于焊接安装在现场的安全阀（简称“焊接安全阀”）和非焊接安装安全阀中工作压力较高的安全阀（简称“高压安全阀”）。

(一) 焊接安全阀

该电厂焊接安全阀主要为主蒸汽安全阀，其下属A机组安装的为法国某厂家生产的螺旋弹簧式安全阀（简称“A型阀门”），B机组安装的为德国某厂家生产的碟形弹簧式安全阀（简称“B型阀门”），每台机组安装21台阀门，两种阀门运行条件相同，工作压力为6.8MPa。为了保证主蒸汽安全阀在较高工作压力下的良好密封，因此其密封面平面度要求较高^[8]。由于其焊接安装在主蒸汽管道上，无法通过安全阀校验台检测其平面度，因此只能采用其它检测工艺。对于A型阀门，其从机组工程阶段至今十多年，一直采用平面平晶干涉工艺检测密封面平面度（如图5所示），经检测合格（平面度 $<3\mu\text{m}$ ）的阀门运行状态良好，从未出现泄漏。而对于B型阀门，其在工程阶段，采用目视检查密封面平面度，只需确定密封面无缺陷即可，在热试期间，有3台阀门出现了泄漏，解体检查后用平面平晶干涉工艺检查密封面，发现平面度较差，因此后续将B型阀门平面度检测工艺优化为平面平晶干涉工艺，相关标准同A型阀门一致，工艺优化至今数年，未再

有阀门出现泄漏，效果良好。由此可见，对于焊接安全阀，平面平晶干涉工艺是较好的密封面平面度检测工艺，可保证阀门在工作压力下的良好密封，保障系统、机组安全稳定运行。



> 图5 平面平晶干涉工艺检测图

（二）高压安全阀

该电厂部分非焊接安装高压安全阀工作压力在10MPa以上，有的超过20MPa，因此其密封面平面度要求很高。对于此类阀门，该电厂通过安全阀校验台进行密封试验间接检测平面度，由

于其密封面研磨后仅通过目视检查确定无缺陷即进行密封试验，因此密封试验往往无法一次成功，需要重新解体阀门研磨密封面以获得更好的平面度，之后再次进行密封试验，直至合格，期间拆装阀门研磨次数可达数次，有时甚至超过10次，消耗较大的人力、物力。因此，电厂采购阀门密封面对应尺寸的平面平晶，在密封面研磨完成后先用平面平晶干涉工艺检查其平面度满足要求，再进行密封试验，一般可一次成功，大幅减少阀门重新解体研磨密封面次数，节约大量的人力、物力成本^[9]。

三、结束语

相较传统的安全阀密封面平面度检测工艺，平面平晶干涉工艺检测精度高，可靠性好，经其检测合格的密封面可实现安全阀良好的密封，同时，相较其它精度高的工艺，如激光干涉仪检测、轮廓仪测量、三坐标测量仪检测等，其成本较低，便携性好，因此，平面平晶干涉工艺是目前较合适的安全阀密封面平面度检测工艺。建议在安全阀检修中尽可能应用平面平晶干涉工艺，以获得良好的密封面平面度^[10]，实现安全阀的良好密封，保障系统安全稳定运行，有效提升运维本质安全水平。

参考文献

[1] 丁涛，胡靖，核电主蒸汽安全阀泄漏的分析研究[J]. 设备管理与维修，2023（21）：180～182.
[2] 刘丽萍，马忠仁，岳景春，自制平面平晶检测仪的工作原理及实际应用经验探讨[J]. 内燃机与配件，2018（12）：219.
[3] 武超，核电厂主蒸汽安全阀内漏原因分析及处理方法研究[J]. 产业与科技论坛，2022（17）：43～44.
[4] 王东，张清，贾虎，平行光入射时劈尖干涉误差的定量分析[J]. 物理与工程，2012（02）：23～24.
[5] 张庆华，浅析用平面平晶检定仪器的平面度[J]. 计量与测试技术，2018（04）：28～29.
[6] 杨琳，浅析平面平晶工作面不确定度[J]. 科技创新与应用，2015（22）：300.
[7] 王家帮，孔祥夷，魏跃杰，安全阀常见故障的分析与处理[J]. 化工设备与管道，2012（03）：76～78.
[8] 蒋振华，谢月丰，季明明，主蒸汽安全阀主要缺陷的原因分析及危害性预见[J]. 产业与科技论坛，2021（12）：40～41.
[9] 杨胜凯，张小辉，周晓明，王浩，核电厂主蒸汽安全阀内漏原因分析及处理[J]. 液压气动与密封，2019（12）：85～87.
[10] 杨波，安全阀密封面研磨方法探讨[J]. 内燃机与配件，2018（05）：141～143.

电子电工技术在电气自动化中的应用

邓祥波

松滋市畜牧兽医服务中心，湖北 松滋 434200

摘 要： 电子电工技术在电气自动化领域中占据关键地位，是实现智能化控制以及高效能量转换的基础。借助电子电工技术，电气自动化设备能够灵活应对复杂的工艺需求，实时监测自动化控制细节。本文介绍电子电工技术的特点，分析其在电气自动化中的应用价值，并提出优化电路设计技术、传感器集成技术、故障诊断技术、变频调速技术等具体应用策略，旨在推动现代工业控制系统智能化发展。

关 键 词： 电子电工；电气自动化；技术应用

Application of Electronic and Electrical Technology in Electrical Automation

Deng Xiangbo

Songzi Animal Husbandry and Veterinary Service Center, Songzi, Hubei 434200

Abstract： Electronic and electrical technology occupies a key position in the field of electrical automation, and is the basis of realizing intelligent control and efficient energy conversion. With the help of electronic and electrical technology, electrical automation equipment can flexibly respond to complex process needs and monitor automation control details in real time. This paper introduces the characteristics of electronic and electrical technology, analyzes its application value in electrical automation, and puts forward specific application strategies such as optimizing circuit design technology, sensor integration technology, fault diagnosis technology, frequency conversion technology and speed regulation technology, etc., aiming to promote the intelligent development of modern industrial control system.

Keywords： electronic and electrical engineering; electrical automation; technology application

引言

电子电工技术广泛应用于电气自动化领域，已成为支撑各类自动化系统高效运行的关键技术，是现代工业发展的重要基础。在电气自动化系统中，电子电工技术保证电机驱动、变频控制、直流变换等关键环节电能转换的高效性。与此同时，数字电子技术、模拟电子技术、单片机及嵌入式系统的应用，也赋予电气自动化系统更强的灵活性，使其可以精确调控电力系统，有效管理能源。

一、电子电工技术在电气自动化中的应用价值

1. 提高系统运行效率

合理应用电子电工技术可以有效控制电能转换过程中的损耗，保障电气设备在不同负载条件下都能高效运作。电子电工技术具备的精确控制以及调节功能，能使电气自动化系统在高负荷或低负荷情况下保持稳定的能效水平，从而避免因负载波动或设备运行条件变化而导致的能源浪费。在工业自动化环境中，提升能效可以节约成本，同时也能提高系统的可持续性。与此同时，电子电工技术采用先进的电子元器件，并优化电路设计，可以让电气自动化系统充分发挥其性能优势，在生产过程中实现最小的能源消耗。除此之外，在功率因数校正、谐波抑制等领域应用电子电工技术，能够进一步优化电气系统的能量管理，减少电网负荷以及电能传输过程中的损耗^[1]。

2. 增强系统安全稳定

电气自动化系统通常涉及复杂的电路和设备，在实际运行中会受到电压波动、短路、过载等诸多外界因素的影响。这些因素

可能导致系统不稳定，甚至引发安全事故。电子电工技术实时监控、精确控制电气参数，能够显著提高系统应对突发情况的能力，保障设备稳定运行。该技术的应用有助于降低系统发生故障的概率，并以快速响应机制将潜在的风险降低到最小。与此同时，电子电工技术的电气保护原理能够为系统的长期稳定提供强有力的技术支持。电子电工技术能够精细化管理系统的运行环境，使自动化系统在不利条件下依然保持可靠的工作状态。电子电工技术还可以优化电能分配、避免电力供应不稳定带来的影响，增强系统整体的安全性。

3. 提升智能控制水平

电气自动化系统应用电子电工技术能够具备更强的感知决策能力，并更精准、灵活地响应复杂的工业需求，从而极大提升自身的智能控制水平。借助集成数字信号处理、微处理器技术和嵌入式系统，电气自动化系统能够实时监测运行状态，并根据实时数据进行高效的自适应调整，从而实现最优性能输出^[2]。这种提升更体现在系统的响应速度上。电子电工技术可以有效集成传感器、控制算法等，帮助系统高度智能化处理复杂控制任务，使其

能够自主适应变化的环境条件以及不同工艺要求。而且，电子电工技术可以提高整体生产的连贯性，进一步提高自动化系统的智能化控制水平。除此之外，电子电工技术与人工智能、大数据等技术结合，可以帮助自动化系统分析历史运行数据，优化控制策略，促使其实现更高层次的自主决策。

4. 增强故障诊断能力

在复杂的自动化系统中，设备以及电路的正常运行受到多种因素的影响。任何潜在的故障都可能导致生产中断或设备损坏。而电子电工技术实时监测并精密分析关键电气参数，能够提前识别设备可能出现的故障，在问题尚未扩大化之前及时处理。这种早期检测能力能够缩短系统停机时间，减少维护成本，并提高生产线的效率^[9]。与此同时，电子电工技术使系统具备了更高的自诊断能力，能够快速识别故障来源，降低传统手动排查过程中的误差。借助先进的电子监控技术，故障诊断过程得以更智能高效地进行。系统能够在运行中自动分析电路的状态变化、负载波动，实时检测并记录相关数据，为后续故障分析以及预防性维护提供科学依据。

二、电子电工技术在电气自动化中的应用策略

1. 优化电路设计技术，提高控制精准度

技术人员应该使用低功耗电子元件，有效减少电路能量损耗，同时保证电信号传输的稳定性。其中，优化电路布线是关键。技术人员应尽量缩短导线长度，减少信号传输的延迟以及电磁干扰。为了进一步提高系统的控制精准度，技术人员在设计时需注重电路的抗干扰能力，采用屏蔽措施或滤波电路，避免外界电磁信号对系统造成的影响^[4]。除此之外，技术人员应该使用电路仿真软件进行预先验证，有效减少设计中的错误，提高电路在实际运行中的可靠性。技术人员也应精心设计电源管理电路，保证电压稳定、功率合理分配，避免设备因供电不稳导致的故障。

以编程电气控制系统为例。技术人员需要选用低功耗、高效率的元件，减少能量消耗。在设计电路布线时，技术人员应缩短导线的长度，避免交叉布线，并采取适当的屏蔽措施，保障信号不受外界干扰。在电源管理部分，技术人员的设计应包括稳压电路，保障电压的稳定供应，防止电压波动影响系统的控制精准度。技术人员可以采用高精度的稳压器或滤波电容，减少电源噪声的传递。与此同时，技术人员应分开设计电源线路和控制线路，避免电源瞬态变化对控制信号的影响。为了提高系统对外界环境变化的适应能力，技术人员还应设计有效的反馈电路。技术人员需要放大电路和反馈回路，使其实时监测输出信号，并根据反馈值调整控制信号，保证系统的输出符合预期。设计过程中，技术人员也需要考虑放大电路的线性度以及增益稳定性，避免在大范围输入信号变化时出现非线性失真。

2. 应用传感器集成技术，提升数据采集效率

技术人员要根据具体需求选择适合的传感器类型，确认其能满足数据采集精度要求。传感器的布置必须经过详细规划，要求技术人员合理安排其位置，避免信号干扰或数据重叠，提高采集

的有效性。在集成传感器网络的过程中，技术人员应考虑数据传输的效率与稳定性，优化信号路径，减少传输延迟。与此同时，技术人员需要精确设计信号调理电路，保证传感器输出信号的强度，减少干扰因素对数据的影响^[6]。为了进一步提升数据采集的效率，技术人员可以引入多通道采集系统，并行处理数据，避免数据传输瓶颈。在集成过程中，技术人员还需考虑数据采集的速率与系统响应时间，保证系统能够实时获取并处理传感器数据。

以在室内照明系统中应用传感器集成技术为例。技术人员需要根据照明区域的具体需求选择合适的光电传感器类型。技术人员应选用灵敏度高、响应速度快的光电感应传感器，确认其能够快速检测环境光的强度变化。传感器的布置应考虑照明区域的光线分布情况，需要技术人员将传感器安装在能够精确感知环境亮度的关键位置，避免安装在容易受到遮挡或反射影响的区域。与此同时，技术人员需要优化传感器之间的布线方案，采用合理的布局方式，将信号传输线路最短化，减少信号延迟或干扰。技术人员可以利用屏蔽电缆保护信号传输路径，降低外界电磁干扰对数据传输的影响。对于输出信号过弱的传感器，技术人员应用高精度的放大器放大信号，使其能够被控制系统稳定接收。为了进一步提升数据采集效率，技术人员还可以引入动态调整机制。当检测到环境光照强度剧烈变化时，系统需要动态调整采集频率，提升数据采集的精度。在布置传感器时，技术人员可以采用分区感应的方式，避免某一区域的光照变化影响整体系统的响应。

3. 使用故障诊断技术，保障系统稳定

技术人员需要实时监测电气自动化系统的各个环节，及时获取设备运行状态。技术人员应安装高精度传感器，借此捕捉电压、电流、温度等重要参数的变化，并利用智能监控设备连续分析这些数据。在设计故障诊断算法时，技术人员需要依据设备的历史运行数据，并使用模式识别与异常检测算法识别潜在的故障风险^[6]。技术人员还应采用状态监测以及数据采集系统，实时获取设备的工作状态，将其与正常运行参数进行比对。电气自动化系统中还应加入故障隔离机制，以便在检测到异常时迅速隔离问题区域，防止故障蔓延。为提高故障诊断的效率，数据处理模块必须具备快速处理能力，应在短时间内定位问题源头。除此之外，设计应包括冗余系统，保障在关键部件出现问题时，备份系统能够自动接管，维持系统的正常运行^[7]。

以继电器故障为例。技术人员应实时监控继电器的安装过程，持续监测继电器的工作电压、电流。技术人员需要设计实时数据采集系统，并将继电器工作状态的所有参数接入主控制器。为了保证系统能够快速检测到故障，故障诊断模块的设计应以高效和实时为核心。技术人员应引入故障模式识别技术，为系统设置预定的电压、电流上下限阈值。当某个参数超出设定的范围时，系统需要立即发出故障预警。系统也应具备快速响应机制，能够在参数超出正常范围的瞬间启动自检程序，快速分析是外部负载问题，还是继电器本身出现异常。在故障分析环节中，技术人员可以增加数据比对功能，将实时采集的数据与设备的历史运行数据进行对比，更好地辨别出异常是长期累积的结果，还是由于突然的外部冲击造成。技术人员应在系统的控制逻辑中设置定

期自检功能，要求系统每隔一定时间自动检查所有继电器的工作状态。自检时，系统需要对比每个继电器的响应时间、通断电流大小，判断是否存在过热、接触不良等隐患。

4.应用变频调速技术，优化能效管理

技术人员应根据负载需求选择合适的变频器，并精确设定变频器的输出频率，以此控制电机的转速^[8]。技术人员需要根据工艺要求合理配置变频器的调速范围，保障系统在不同负载条件下都能维持最佳的能效水平。对于多电机系统，技术人员应使用多台变频器，并优化每台电机的运行状态，避免能量浪费。在设置变频器参数的过程中，技术人员还需根据电机的额定功率以及负载特性合理设置启动电流的条件，避免因启动电流过大而造成能耗增加或设备损坏。

以在电机控制中应用变频调速技术为例。技术人员需要全面分析电机的运行参数，确定功率、转速和负载的特性曲线。技术人员要根据这些参数，选择合适的变频器。进入设置阶段后，技术人员应在变频器上设定合理的工作频率范围，确认在调速过程中不会超出电机的额定值。在安装过程中，技术人员需要连接变频器与电机电气，并借助屏蔽电缆减少信号传输中的电磁干扰。在布线时，技术人员要确认电源线以及控制线分开走线，避免电流瞬变或信号干扰影响控制精度。在日常运行中，技术人员应借助变频器实时监控电机的转速、输入输出电流以及电压数据，并应用控制算法动态调整变频器的输出频率。对于动态变化较大的负载，技术人员应预先编写控制程序，设定负载对应的最佳频率点。

5.使用保护电路技术，提升系统安全

技术人员需要根据系统的功率需求以及设备特性设计适当的过载保护装置。过载保护电路应包含热敏电阻等元件，需要在电流超过设定阈值时及时切断电源，避免设备因过载而受损。短路保护电路的设计需考虑快速反应时间以及精准的故障检测。技术

人员应使用继电器或电子开关监测电压或电流的异常变化，保障短路发生时电路能够迅速断开。技术人员需要在电气系统中引入漏电保护装置，防止因电气泄漏导致的安全事故^[9]。漏电保护装置应具备高灵敏度，在检测到微小的漏电电流时即刻触发保护功能，切断电源，防止设备以及人员的安全受到威胁^[10]。

以在气动设备中使用保护电路技术为例。技术人员应该分析气动设备的具体需求，确定设备工作电压、电流以及可能产生的过载情况，并根据这些参数选择合适的保护装置。技术人员在设计时可以引入过载保护电路，使用热敏电阻或断路器为核心元件。技术人员也可以在主电源线上加入热敏电阻和熔断器，有效地限制由于电气故障引起的过大电流。在过流保护方面，技术人员应精确设计过流检测电路，结合霍尔传感器实时监控电路中的电流变化。技术人员需要为过流检测电路应设置合理的响应时间，使其在故障发生时迅速响应，同时避免因暂时性电流波动导致的误动作。漏电保护设计是提升气动设备安全的关键步骤。技术人员需要确认所有气动设备的金属外壳与接地系统可靠连接，避免因绝缘失效导致的触电风险。漏电保护装置应具备高灵敏度，能够在检测到微小漏电电流时即刻断电保护。

三、结束语

电子电工技术可以赋予电气自动化系统强大的感知、处理、响应能力，推动工业自动化水平的提升。在系统设计、控制优化等方面有效应用电子电工技术，电气自动化系统能够提高控制的精密程度，保障工业流程连贯可靠，并在复杂的应用环境中稳定运行。在未来的工业自动化领域，电子电工技术将实现更深层次的整合，进一步提高系统的自主调节能力，推动现代工业向智能化以及高效化的方向迈进。

参考文献

[1] 郑兰. 电气自动化工程中电子电工技术的应用探究 [J]. 大众标准化, 2024,(10):154-156.
[2] 郭宁, 刘青. 电子技术在工业电气自动化中的应用研究 [J]. 石河子科技, 2023,(04):22-24.
[3] 张灏. 电气自动化中的电子电工技术分析 [J]. 电子技术, 2023,52(06):102-103.
[4] 沈静. 电子信息化技术在工业电气自动化中的应用 [J]. 中阿科技论坛(中英文), 2021,(07):48-50.
[5] 姚莹. 电子技术在电气自动化控制中的应用分析 [J]. 信息记录材料, 2023,24(11):85-87.
[6] 李超. 电气自动化技术在电气工程中的应用 [J]. 信息记录材料, 2021,22(11):107-108.
[7] 姚明. 电子信息化技术在电气自动化中的应用 [J]. 中国新通信, 2019,21(15):108.
[8] 陈斌. 电子信息化技术在工业电气自动化中的应用 [J]. 智能城市, 2019,5(10):186-187.
[9] 王宝庆. 电气自动化技术在电气工程中的应用 [J]. 南方农机, 2018,49(06):100.
[10] 韩飞. 探究电气自动化技术在电气工程中的应用 [J]. 山东工业技术, 2017,(08):141.

500kV 线路保护二次回路数字化故障诊断模型与应用软件开发

王新越, 张鹏望, 孔令斌

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局, 云南 大理 671000

摘 要 : 目前线路保护二次回路复杂, 需结合相关断路器保护等图纸共同查看回路信息, 对照多份设计图纸查看回路信息时, 不清晰直观、不便于回路识图。同时, 线路保护装置故障点的定位对二次人员专业技术要求较高, 严重制约线路保护装置二次回路故障的查找与分析时间。因此, 针对上述问题, 设计出500kV线路保护二次回路数字化故障诊断模型与多平台应用软件, 应用此软件, 直观展示线路保护二次回路信息, 辅助现场开展故障排查处理、检修人员培训, 最终测试结果表明, 在使用故障整断辅助定位软件后, 与传统的看图查故障相比, 排查故障时间将减少50%, 故障定位的准确率提高40%, 表明在该款软件的辅助下, 线路保护故障定位将更加快捷, 更加具有针对性, 具有较高的实际应用价值。

关 键 词 : 500kV线路保护; 数字化; 故障定位; 应用软件

Development of Digital Fault Diagnosis Model and Application Software for 500kV Line Protection Secondary Circuit

Wang Xinyue, Zhang Pengwang, Kong Lingbin

China Southern Power Grid Co., LTD. Ultra-high voltage transmission company Dali Bureau, Dali, Yunnan 671000

Abstract : At present, the secondary circuit of line protection is complex, and it is necessary to jointly view the circuit information with relevant circuit breaker protection drawings. When comparing multiple design drawings to view the circuit information, it is not clear and intuitive, and it is not easy to identify the circuit diagram. At the same time, the location of the fault point of the line protection device requires high professional skills from secondary personnel, which seriously restricts the search and analysis time of the secondary circuit fault of the line protection device. Therefore, in response to the above issues, a digital fault diagnosis model and multi platform application software for the secondary circuit of 500kV line protection have been designed. By using this software, the secondary circuit information of line protection can be visually displayed, assisting in on-site troubleshooting and maintenance personnel training. The final test results show that after using the fault breaking auxiliary positioning software, compared with traditional visual inspection of faults, the troubleshooting time will be reduced by 50%, and the accuracy of fault localization will be improved by 40%. This indicates that with the assistance of this software, the fault location of line protection will be faster, more targeted, and have higher practical application value.

Keywords : 500kV line protection; digitize; fault location; application software

引言

在电力系统中, 线路保护装置二次回路故障是较为重要的一种故障类型, 覆盖范围广, 影响力大, 如果不及时做出维护处理, 极有可能导致电力系统的崩溃、瘫痪, 因此, 线路保护装置的二次回路故障的快速查找和定位对于确保电力供应的可靠性和安全性至关重要, 为解决这一问题, 提出了变电站继电保护二次回路在线监测及线路故障诊断研究方法^[1], 提出了基于虚拟现实技术的继电保护装置及二次回路仿真培训系统, 这类方法和系统太过笼统和简单, 仅实现大概定位故障位置, 整体的效率较低, 且故障定位结构多设定为单向形式, 定位处理的质量无法保证, 为此本文着重针对500kV线路保护二次回路进行主要功能回路的建模, 利用全回路二次图节点的故障变换设置来分析故障回路中的电压变位及节点的开断, 进而结合实际故障排查工作验证故障回路的电位变化, 确定精准的故障位置。同时, 为确保现场应用人员可以方便使用, 开发设计了多平台可使用的软件程序, 将其可以安装于手机或平板中, 方便现场作业人员的使用, 提高故障排查效率。

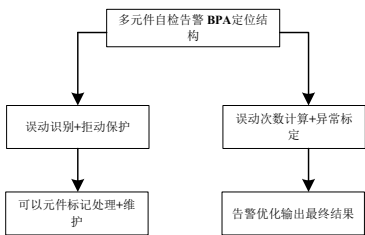
作者简介:

1. 王新越 (1998.02-), 男, 汉族, 云南红河, 本科 助理工程师, 继电保护;
2. 张鹏望 (1988.10-), 男, 汉族, 云南大理, 本科, 高级工程师, 继电保护;
3. 孔令斌 (1991.05-), 男, 汉族, 云南昆明, 本科, 工程师, 继电保护。

一、设计线路保护装置二次回路故障定位方法

(一) 设计多元件自检告警 BPA 定位结构

采用多元件自检告警的方式，利用 BPA 框架设计故障定位结构。先结合实际的故障定位需求，设计对应的自检告警 BPA 定位结构，如图1所示：



> 图1 多元件自检告警 BPA 定位结构图

基于故障定位的要求，设置自检告警的结构保护定位标准。具体如下所示：

- (1) 分析线路保护二次回路处于拒动还是误动状态^[2]；
- (2) 结合元件自检告警状态，缩小故障的定位范围，统计拒动（误动）关联数据；
- (3) 结合 BPA 框架，测算出可以元件的举证值，进行前后标准的比对，获取故障数据。

(二) 构建线路保护二次回路故障定位模型

- 1.整理线路保护主要功能回路二次回路图纸，绘制从线路保护至一次设备的二次回路原型图；
- 2.依据绘制的初步原型图，进行三维建模，实现线路保护二次回路三维虚拟回路的构建；
- 3.构建线路保护的二次回路三维虚拟回路操作机制，形成完善的线路保护二次回路三维虚拟回路演示程序，可以在电脑端使用；
- 4.用编译器将虚拟回路演示模型开发至安卓系统，编译成可以下载的软件，实现数字化模型的便于移植功能，确保可以在手机或平板平台上使用^[3]。

同时，利用上述设计的自检告警的保护定位标准，对线路保护出现故障的位置进行模糊标定，同时获取对应的数据、信息。通过数字孪生技术，在初始的模型中建立故障定位的映射，在合理的可信度范围之内，针对故障集合进行举证处理，并明确当前的故障范围。

基于此范围的变化，调整模型的识别定位区域，结合数字孪生技术，改变对应的映射条件，形成完整的模型定位结构，如图2所示：



> 图2 数字孪生线路保护装置二次回路故障定位模型图

(三) 故障定位核心实现方案

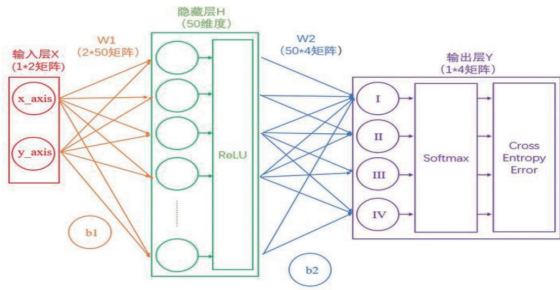
通过传感器和测量设备，获取实时监测电流、电压、频率、功率和温度等电气参数。传感器通常采用高精度、快速响应的技术，使用霍尔效应传感器和电压互感器，以确保数据的准确性和可靠性。将采集到的实时数据通过光纤通信，传输至中央处理单元。系统采用高带宽、低延迟的通信技术，以保证数据传输的实时性和稳定性。实时监测系统通过与设定的阈值和故障特征数据库比对，及时检测到异常情况。当监测到的参数超出设定范围时，系统会自动发出警报，通知运维人员进行干预，系统可提供详细的故障信息和辅助决策。

获取500kV线路保护二次回路中收集历史故障数据，包括电流、电压、频率、温度等电气参数以及故障类型和发生时间。收集的数据可能存在噪声和缺失值，因此需要进行预处理，包括数据清洗、归一化和去噪，确保数据质量。对预处理后的数据进行特征提取，识别出对故障诊断有意义的特征。使用信号处理技术，傅里叶变换提取频域特征，以及基于统计分析的方法提取时域特征。运用特征选择算法，主成分分析 PCA 筛选出对模型性能影响最大的特征，降低维度，提升计算效率^[4]。

$$X_{\text{mean}} = X - \text{mean}(X)$$

> 图3 数据标准化

构建神经网络模型将历史故障数据分为训练集、验证集和测试集，以确保模型的泛化能力^[5]。构建神经网络的架构，选择层数和节点数，确定激活函数、损失函数和优化算法。通过将训练集输入模型，进行前向传播计算输出，并与实际标签进行对比^[6]，计算损失值。利用反向传播算法更新模型参数，以最小化损失函数。在训练过程中，使用验证集监控模型性能，调整超参数以避免过拟合。完成训练后，使用独立的测试集对模型进行评估，计算准确率、召回率、F1-score等指标，以衡量其在实际故障数据上的表现，通过混淆矩阵分析不同故障类型的识别能力，从而确认模型的有效性和可靠性，模型的训练和评估结果将用于进一步的优化和调整^[7]，以确保其在实际应用中的准确性和稳定性。



> 图4 神经网络结构图

利用神经网络模型对实时数据进行预测，生成动态阈值。模型将实时监测到的参数输入^[8]，基于学习到的特征与模式，自动调整各参数的阈值，以适应设备的运行状态和环境变化^[9-10]。这种动态阈值能够在不同情况下提供更为合理的警戒线，减少误报和漏报的风险。系统持续监测电气参数，当监测到的参数接近动

态阈值时，系统会进行深度分析，判断是否为真正的故障。如果确认为故障，则触发报警；如果未达到故障状态，则可继续运行。该机制确保了故障检测的高效性和准确性。

二、结束语

此技术方案带来了多个显著的有益效果，智能故障诊断模型的应用显著提高了故障识别的准确性，通过数据驱动的方法减少了传统经验判断带来的误诊和漏诊风险，实时数据监测系统的实施确保了对电气参数的连续监测，使得故障响应时间显著缩短，

能够及时发现和处理异常情况，提升了电力系统的安全性，自适应阈值设定结合神经网络算法的引入，使得故障检测的灵活性和适应性增强，能够动态调整报警阈值，降低了误报和漏报的概率，通过高效的数据处理和分析能力，本发明能够应对海量实时数据，提高了故障诊断的效率，降低了运维人员的工作负担，整体系统的集成性和用户友好的界面设计，提升了运维人员的操作体验，使其能够快速理解设备状态和故障信息，从而优化决策过程。综上所述，本发明不仅提升了500kV线路保护二次回路的故障诊断能力，也为电力系统的安全、可靠和高效运行提供了坚实的技术支持。

参考文献

[1] 林燎东. 变电站继电保护二次回路在线监测及线路故障诊断研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (06):175-176.

[2] 吴双, 胡晓丽. 基于虚拟现实技术的继电保护装置及二次回路仿真培训系统 [J]. 光源与照明, 2022, (12):148-150.

[3] 沈海平, 刘晓伟, 张雪峰, 等. 基于虚拟现实技术的输电线路带电作业仿真培训系统 [J]. 中国水运 (下半月), 2011, 11(05):66-68.

[4] 叶克书. 虚拟现实技术在带电作业仿真培训系统中的应用 [J]. 云南电业, 2013, (08):39-40.

[5] 唐洪良, 骆志刚. 基于虚拟现实技术的配电线路巡检虚拟仿真培训系统 [J]. 科技创新与应用, 2013, (29):56.

[6] 周琪琪, 孙建平. 基于虚拟现实技术的风电仿真培训系统 [J]. 电力科学与工程, 2018, 34(09):73-78.

[7] 李海川, 段冲. 基于虚拟现实技术的三维输气管道仿真培训系统 [J]. 中国管理信息化, 2012, 15(16):64-66.

[8] 徐良军, 章建, 蒋毅, 等. 基于虚拟现实技术的电力安监仿真培训系统 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19(11):162-165+147.

[9] 陈海波, 郑健, 费瑞轶, 等. 虚拟现实技术在电力系统中的典型应用 [J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(02):20-25.

[10] 黄晓敢, 许晓伟, 徐军杨, 等. 虚拟现实技术在电力系统中的应用研究 [J]. 电工技术, 2023, (22):87-89+92.

智能电网技术在电力配网中的应用分析

吴正荣

贵州电网有限责任公司凯里供电局，贵州 凯里 556000

摘 要： 本文深入探讨了智能电网技术在电力配网中的应用，分析了智能电网技术的优点、当前电力配网的现状以及智能电网技术的未来发展策略。智能电网技术以其高效、可靠和可持续的特点，为电力配网带来了显著的改进和提升，为电力行业的高质量发展注入了新的动力。

关 键 词： 智能电网技术；电力配网；高效性；可靠性；可持续发展

Analysis of Smart Grid Technology in Power Distribution Network

Wu Zhengrong

Kaili Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., LTD. Kaili, Guizhou 556000

Abstract： This paper deeply discusses the application of smart grid technology in power distribution network, and analyzes the advantages of smart grid technology, the current status of power distribution network and the future development strategy of smart grid technology. Smart grid technology, with its high efficiency, reliability and sustainability, has brought significant improvement and promotion to the power distribution network, and injected new impetus into the high-quality development of the power industry.

Keywords： smart grid technology; power distribution network; high efficiency; reliability; sustainable development

随着全球能源需求的不断增长和能源结构的转型，传统电力配网面临着诸多挑战。智能电网技术作为电力行业的重要创新，以其高效、可靠和可持续的特点，为电力配网带来了革命性的变化。本文将详细分析智能电网技术的优点、在电力配网中的应用、当前电力配网的现状以及智能电网技术的未来发展策略。

一、智能电网技术的优点

（一）高效性

智能电网技术通过智能化监控和调度，实现了对电力系统的精准控制和管理，这一特性显著提高了系统的运行效率和稳定性。具体而言，智能电网技术利用先进的传感器、通信技术和数据分析算法，能够实时监测电力系统的运行状态，包括电流、电压、功率因数等关键参数。通过对这些数据的实时分析和处理，智能电网技术能够及时发现并解决潜在的电力供需不平衡问题，避免过载和欠载现象的发生。此外，智能电网技术还能够根据实际需求，对电力系统进行智能调度，优化电力资源的分配和利用。例如，在电力需求高峰期，智能电网技术可以自动调整电力供应策略，确保关键区域的电力供应稳定；而在电力需求低谷期，则可以降低电力输出，减少能源浪费。这种智能化的调度方式不仅提高了电力系统的运行效率，还降低了电力损耗和运营成本，为电力行业的高质量发展提供了有力支撑^[1]。

（二）可靠性

智能电网技术以其强大的故障检测和恢复能力，确保了电力系统的可靠运行，这是其另一项显著优点。在复杂的电力系统中，故障的发生往往难以避免，但智能电网技术通过集成先进的

监测和诊断系统，能够实时检测电力系统的异常情况，包括线路过载、设备故障、电压波动等。一旦检测到故障，智能电网技术能够迅速定位故障点，并启动相应的恢复机制，如自动隔离故障区域、调整电力供应路径等，以最大限度地减少故障对电力系统的影响。此外，智能电网技术还具备自我修复和重构的能力。在故障发生后，系统能够自动调整运行状态，恢复电力供应，确保关键负荷的连续供电^[2]。这种快速响应和恢复能力，不仅提高了电力系统的可靠性，还减少了因故障导致的停电时间和经济损失。

（三）可持续性

智能电网技术在推动能源可持续发展方面扮演着至关重要的角色。它能够优化能源资源的配置和利用，确保各种能源类型，特别是清洁能源，得到高效、合理的利用。通过集成先进的能源管理系统和数据分析技术，智能电网技术能够实时监测和分析电力系统的供需状况，智能调度各类能源，包括风能、太阳能等可再生能源，实现能源供应的多样化和互补性。此外，智能电网技术还支持清洁能源的大规模开发和利用^[3]。它具备强大的电网接入和调度能力，能够容纳并管理大量的分布式清洁能源发电设备，如屋顶太阳能板、风力发电站等。这不仅促进了清洁能源的广泛应用，还降低了对传统化石能源的依赖，减少了碳排放，为

作者简介：吴正荣（1971.02—），男，苗族，贵州凯里市人，本科，现就职于：贵州电网有限责任公司凯里供电局，初级，研究方向：电力配网。

应对全球气候变化作出了积极贡献。

二、智能电网技术在电力配网中的应用

（一）智能监控与调度

智能电网技术在电力配网中的首要应用是智能监控与调度。通过安装智能传感器和监测设备，智能电网技术能够实时监测电力配网的各种状态和参数，包括但不限于电流、电压、功率因数、频率以及设备温度等关键数据。这些数据被实时采集并传输到中央控制系统，通过先进的数据分析算法，系统能够迅速识别电力配网中的异常和潜在问题。基于这些实时数据，智能电网技术能够实现智能调度，根据电力需求和供应情况，动态调整电力分配策略。例如，在用电高峰期，系统可以智能地调配电力资源，确保关键区域和重要负荷的电力供应；而在低谷期，则可以优化电力输出，减少不必要的能源浪费。这种智能监控与调度机制，不仅提高了电力配网的运行效率和可靠性，还显著增强了电力系统的灵活性和响应速度^[4]。

（二）故障快速响应与恢复

智能电网技术在电力配网中的另一项关键应用是故障快速响应与恢复。该技术通过集成先进的故障检测和定位算法，能够在电力配网发生故障时迅速识别故障点，并自动触发相应的响应机制。一旦检测到故障，智能电网系统能够立即隔离故障区域，防止故障扩散，同时启动备用电源或调整电力供应路径，确保非故障区域的电力供应不受影响^[5]。此外，智能电网技术还具备自我恢复的能力。在故障被隔离后，系统能够自动启动恢复程序，尝试重新配置电力资源，恢复故障区域的电力供应。这种快速响应和恢复机制，不仅显著减少了停电时间和范围，还提高了电力配网的可靠性和稳定性。

（三）能源优化管理

智能电网技术在电力配网中的第三大应用是能源优化管理。该技术通过集成高级计量和数据分析系统，能够实时监测和分析电力配网中的能源使用情况，包括各类负荷的用电需求、分布式能源的发电状况以及电网的整体能耗等。基于这些实时数据，智能电网技术能够智能地优化能源配置和调度策略。例如，在用电高峰期，智能电网可以优先调度分布式清洁能源发电，减少对传统化石能源的依赖；在低谷期，则可以鼓励用户储存电能或调整用电计划，以实现能源的高效利用。此外，智能电网技术还能够通过智能调节电网参数，如电压和频率，进一步降低电网的能耗和损耗，实现节能减排的目标^[6]。

三、当前电力配网的现状

（一）设备老化与更新需求

当前电力配网面临的一个显著现状是设备老化问题严重。随着电力行业的快速发展和电网负荷的不断增长，许多早期建设的电力配网设备已经服役多年，逐渐进入老化期。这些老旧设备不仅技术性能落后，无法满足现代电力系统对高效、稳定、安全运

行的要求，而且存在较高的故障风险，严重威胁着电力供应的可靠性和安全性。具体来说，老旧设备在承受现代高负荷电力需求时，往往表现出性能下降、效率低下的问题，甚至可能出现频繁的故障和停机现象。这不仅影响了电力配网的稳定运行，也给用户的用电体验带来了诸多不便。此外，老旧设备还存在安全隐患，一旦发生故障，可能引发连锁反应，导致更大范围的停电事故^[7]。因此，当前电力配网急需对老旧设备进行更新换代，以提升系统的整体性能和安全性，确保电力供应的稳定和可靠。

（二）能源结构转型压力

当前电力配网正面临着能源结构转型的巨大压力。随着全球对环境保护和可持续发展的重视，清洁能源如太阳能、风能等得到了快速发展。然而，这些清洁能源的接入和消纳对电力配网提出了新的要求。清洁能源具有间歇性和不稳定性，其发电量和发电时间受到自然条件的影响，与传统化石能源的发电方式存在显著差异。因此，电力配网需要具备较强的灵活性和适应性，以应对清洁能源发电的波动性和不确定性。同时，清洁能源的大规模接入还需要电力配网具备更高的智能化水平，以实现能源的高效配置和调度。随着清洁能源在能源结构中的占比不断提高，电力配网面临的转型压力也越来越大。如何适应能源结构的转型，支持清洁能源的大规模接入和消纳，成为当前电力配网需要解决的重要问题^[8]。

（三）智能化水平不足

当前电力配网在智能化方面存在明显的短板。尽管电力行业在近年来取得了长足的发展，但电力配网的智能化水平仍然相对较低，缺乏先进的监控、调度和管理手段。传统的电力配网管理方式主要依赖于人工操作和简单的自动化系统，难以实现对电力配网状态的实时监测和精准控制。这导致电力配网在面对日益增长的电力需求和复杂多变的运行环境时，往往表现出响应速度慢、调度效率低、故障处理不及时等问题。此外，智能化水平的不足还限制了电力配网在能源优化配置、节能减排等方面的潜力发挥。缺乏智能化的管理手段，使得电力配网难以实现对清洁能源的高效利用和分布式能源的灵活接入，从而影响了电力行业的可持续发展。

四、智能电网技术的未来发展策略

（一）加强技术研发与创新

智能电网技术的未来发展离不开持续的技术研发与创新。为了提升智能电网的智能化水平和运行效率，必须不断投入研发资源，推动技术的突破和升级。

在技术研发方面，应重点关注智能电网的感知、分析、决策和控制等关键环节。通过研发先进的传感器和监测设备，实现对电网状态的实时监测和精准感知；通过开发高效的数据处理和分析算法，提高电网数据的处理速度和准确性，为决策提供有力支持；通过优化控制策略和控制算法，实现电网的智能化调度和高效运行^[9]。同时，智能电网技术的创新还应注重跨学科、跨领域的融合。例如，结合人工智能、大数据、物联网等前沿技术，推

动智能电网技术的智能化、自动化和数字化发展。通过技术的融合创新，进一步提升智能电网的可靠性和安全性，满足未来电力行业的发展需求。总之，加强技术研发与创新是智能电网技术未来发展的重要方向。只有不断推动技术的突破和升级，才能提高智能电网的智能化水平和运行效率，为电力行业的可持续发展注入新的活力。

（二）完善基础设施建设

智能电网技术的未来发展，离不开完善的基础设施建设。作为智能电网技术的重要组成部分，电力配网的基础设施建设对于提升电网的智能化水平和运行效率至关重要。在基础设施建设方面，应重点加强智能传感器、监测设备和通信网络的部署。智能传感器能够实时监测电网的运行状态，为智能电网的决策提供准确的数据支持；监测设备则能够对电网设备进行实时监控，及时发现潜在故障，提高电网的可靠性和安全性。同时，通信网络的完善也是智能电网技术发展的关键。只有建立起高效、稳定的通信网络，才能实现电网数据的实时传输和共享，为智能电网的智能化调度和高效运行提供有力保障。此外，在基础设施建设过程中，还应注重技术的标准化和规范化。通过制定统一的技术标准和规范，确保不同设备之间的兼容性和互操作性，提高智能电网技术的整体性能和可靠性。

（三）推动政策与标准制定

智能电网技术的未来发展，需要得到政策和标准的有力支

撑。为了推动智能电网技术的广泛推广和深入应用，必须积极加强政策与标准的制定工作。在政策方面，政府应出台一系列鼓励智能电网技术发展的政策措施，包括资金扶持、税收优惠、市场准入等，为智能电网技术的研发和应用提供有力的政策保障。同时，政府还应加强智能电网技术的监管和评估，确保技术的安全性和可靠性，保障电力行业的健康发展。在标准方面，应加快制定智能电网技术的相关标准和规范，包括技术标准、安全标准、通信协议等。通过标准的制定和实施，确保智能电网技术的互操作性和兼容性，提高技术的整体性能和可靠性。同时，标准的制定还有助于推动智能电网技术的国际化进程，提高我国在国际电力市场中的竞争力^[10]。

五、结论

智能电网技术在电力配网中的应用为电力行业的高质量发展注入了新的动力。通过加强技术研发与创新、完善基础设施建设以及推动政策与标准制定等策略的实施，智能电网技术将在未来发挥更加重要的作用，推动电力配网向高效、可靠和可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 郑皓元. 智能电网在电力技术及电力系统规划中的应用分析 [J]. 中国科技投资, 2021, (16): 14–15.
- [2] 巩锐锐, 高建莉. 电力工程技术在智能电网建设中的应用分析 [J]. 中国高科技, 2021, (06): 19–20.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2021.06.07.
- [3] 王池, 何战涛. 分组传送网技术在智能电网电力通信中的应用分析 [J]. 中国新通信, 2020, 22(18): 24–25.
- [4] 王世亮. 基于电力通信技术在智能电网中的应用分析 [J]. 数字通信世界, 2020, (02): 209.
- [5] 杨书佳. 基于电力通信技术在智能电网中的应用分析 [J]. 通讯世界, 2019, 26(08): 238–239.
- [6] 韩佳蓉. 基于电力电子技术在智能电网中的应用分析 [J]. 计算机产品与流通, 2019, (08): 81.
- [7] 郑昊. 分组传送网技术在智能电网电力通信中的应用分析 [J]. 企业技术开发, 2019, 38(04): 66–67+73.DOI:10.14165/j.cnki.hunansci.2019.04.019.
- [8] 王雷. 智能电网在电力技术及电力系统规划中的应用分析 [J]. 无线互联科技, 2018, 15(24): 140–142.
- [9] 陈明文. 电力电子技术在智能电网中的应用分析 [J]. 电子制作, 2018, (12): 80–81.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2018.12.036.
- [10] 张一鸣. 电力通信技术在智能电网中的应用分析 [J]. 通讯世界, 2018, (01): 192–193.

百万机组火电集控运行的节能优化策略

郭日土

华润电力（贺州）有限公司，广西 贺州 542899

摘 要： 随着社会发展及国内工业化建设加快，电力需求量持续增加，这一背景下电力行业规模越来越大。火电厂作为我国发电系统的主要组成，每年需要消耗大量煤炭，且煤价不断上涨，造成发电成本增加。因此，做好百万机组火电厂节能降耗工作十分重要。文中通过分析百万机组火电集控运行特点，归纳其运行过程中存在的问题，结合实际情况给出集控运行的节能优化策略，显著降低发电成本，提高火电厂的经济效益。同时，还能够落实可持续发展战略，并为类似研究提供借鉴。

关 键 词： 百万机组；火电；集控运行；节能优化

Energy Saving Optimization Strategy for Centralized Control Operation of Millions of Thermal Power Units

Guo Ritu

China Resources Power (Hezhou) Co., LTD. Hezhou, Guangxi 542899

Abstract： With the acceleration of social development and domestic industrialization, the demand for electricity continues to increase, and the scale of the power industry is getting larger and larger under this background. As the main component of China's power generation system, thermal power plants need to consume a lot of coal every year, and the rising price of coal causes the increase of power generation cost. Therefore, it is very important to do a good job of energy saving and consumption reduction in millions of thermal power plants. In this paper, by analyzing the characteristics of centralized control operation of millions of thermal power units, the problems existing in the operation process are summarized, and the energy-saving optimization strategy of centralized control operation is given according to the actual situation, which can significantly reduce the power generation cost and improve the economic benefit of thermal power plants. At the same time, it can also implement sustainable development strategies and provide reference for similar studies.

Keywords： million units; thermal power; centralized control operation; energy saving optimization

电力需求持续增长，火力发电厂作为重要组成部分，其地位愈加突出。然而，煤炭价格上涨导致运营成本增加，对企业造成压力。因此，火电厂亟须在保障电力供应的同时，实现节能降耗。百万机组火电厂作为高端技术代表，其运行效率直接影响电网安全。这类机组具备更高的发电能力和较低的污染排放，但在节能优化方面仍然面临挑战。为应对这些问题，火电厂需要创新，并采用先进技术和和管理措施，以提高能源利用率并减少污染。

一、百万机组火电集控运行的特点

（一）高度集成化

百万机组火电集中控制运行的核心特征之一是高度集成化。在传统火电厂中，各个发电机组常常独立运作，每个机组配备独立的控制系统。这种方式不仅增加了管理复杂性，还导致资源浪费^[1]。然而，百万机组火电集中控制通过使用集中控制室，将多个机组的运行数据实时汇总，实现对整个发电过程的统一管理和优化。值得注意的是，高度集成化系统还支持多源数据融合，可

以整合来自不同传感器、监测设备和控制系统的信息，形成全面的数据平台。

（二）高精度控制

在现代火力发电领域，高精度控制已成为百万机组火电集控运行的一大亮点。传统火电厂因控制系统精度有限，难以实现对发电过程的精细化管理。随着科技进步，先进自动化技术和智能算法在集控运行模式下的广泛应用，使得控制系统的精度显著提升。高精度控制不仅能精准调节各机组的运行参数，还可根据电网负荷变化进行动态调整。通过对燃料输送系统的精确控制，每

作者简介：郭日土（1984-），男，汉族，广东省湛江市人，助理工程师，大学本科，研究方向：火力发电集控运行管理。

台机组都能获得最佳燃料配比，提高燃烧效率并减少燃料消耗。

（三）灵活性强

传统火电厂由于设备和技术的限制，很难快速响应电网负荷的变化，导致电力供需失衡。与此不同的是，集控运行模式通过先进的自动化技术和智能调度系统，使得电厂能够灵活调整发电量，从而有效满足电网的各种需求。在电网负荷突然增减时，电厂需要迅速调整发电量。高精度控制和智能调度系统可以实现快速启动和停机，大幅缩短响应时间，确保电力供应的连续性。

二、百万机组火电集控运行节能优化的必要性

（一）电力需求的增长与能源供应的压力

近年来，随着社会经济的迅速发展和工业化进程的加快，电力需求量不断增加，电力行业面临着前所未有的挑战。据国家统计局的数据，从2019年至2023年，全国电力消费总量年均增长率超过5%^[2]。在这种背景下，大型工业项目的推进和城市化进程的加速，使得电力需求增速远超电力供应增速。这不仅给电力行业带来了巨大压力，也让人们对未来能源供应感到担忧。

火电厂作为我国主要发电方式之一，承担着保障电力供应的重要使命。然而，火电厂运行依赖大量煤炭资源，而煤炭开采和运输成本高昂，并对环境造成了巨大压力。煤炭价格逐年上涨，使火电厂运营成本进一步增加。更令人担忧的是，煤炭燃烧产生的二氧化碳、硫化物等污染物严重威胁生态环境健康。面对这些双重挑战，如何在保证电力供应的同时，实现火电厂节能减排成为亟待解决的问题。

（二）经济效益与环境保护的双重需求

在当今社会，节能优化不仅关乎企业经济效益，也是环境保护的重要举措。以某百万机组火电厂为例，通过实施一系列节能措施，该厂年综合能耗下降10%，节省燃煤约10万吨，实现经济效益近亿元。不仅提升了企业盈利能力，还极大增强其市场竞争力。节能优化延长设备使用寿命，减少维修和更换频率，从而降低维护成本。

从环境保护角度来看，节能优化同样意义重大。根据生态环境部门数据，我国最大的碳排放源之一是火电厂，其每年二氧化碳排放占全国总排放量40%以上。通过实施节能优化措施，可以有效减少碳排放和大气污染。

（三）国家政策支持与导向

为了促进火电厂的节能优化，国家推出了一系列政策措施，体现了政府对环保和可持续发展的高度重视。《中华人民共和国节约能源法》明确规定，各级政府应当鼓励和支持节能技术的研发与推广，并加大对节能项目的财政支持力度，以为企业提供更多资源和技术帮助。《“十四五”节能减排综合工作方案》提出具体目标，要求到2025年，全国单位GDP能耗较2020年下降13.5%。火电厂的能耗水平作为关键指标之一，是政策关注的重点^[3]。

国家能源局等部门多次组织专家和技术人员深入火电厂开展调研与技术指导，推动先进技术的应用和普及。例如，智能控制、余热回收利用和高效燃烧等技术正在逐步应用于火电厂生产

实践中。这些技术不仅提高了能效，还减少了环境污染，为火电厂绿色发展注入新活力。

三、百万机组火电集控运行存在的问题

（一）设备老化

随着时间的推移，设备性能逐渐下降，故障频繁发生，维修成本随之增加。尤其在高温、高压的工作环境中，关键设备如锅炉、汽轮机和发电机更容易受到磨损和腐蚀的影响。这些问题不仅直接降低了发电效率，还隐含着重大的安全隐患，增加了事故风险。例如，一些老旧设备的设计和技术标准已远远落后于现代高效、环保的要求，需要尽快更新。然而，由于设备更换费用高昂且需长时间停机，许多火电厂在更新方面犹豫不决。

（二）技术落后

现代火电厂的发展面临着技术滞后的挑战。许多工厂仍依赖传统操作方法，这不仅限制了生产效率，也对环境造成了显著负担。手动调节和经验判断难以实现精确控制，导致资源浪费严重。在这种情况下，引入先进自动化系统至关重要。这些系统不仅可以实时监测设备状态，还能自动优化运行参数，大幅降低能耗并提升系统安全性^[4]。

（三）管理水平不足

在当前环境下，不少火电厂暴露出亟须解决的问题。首先，许多企业缺乏完善的管理制度，没有科学有效的管理体系，也缺少激励员工积极性的机制。一部分管理人员专业能力参差不齐，在知识储备和技能掌握上存在明显不足。而且，各部门之间的信息沟通障碍频繁出现，使得协同工作困难重重。这些因素共同作用，使决策过程低效迟缓，并限制了资源利用率，提高了生产成本。

（四）人员素质参差不齐

在现代火电厂中，人员素质的差异已经成为一个普遍且紧迫的问题。部分员工由于知识结构不完善和技术能力有限，难以跟上新设备与新技术的发展步伐。这不仅限制了他们自身职业发展的空间，还直接影响整个工厂的高效运转。由于培训体系不健全，许多员工无法持续学习或提升技能，这使得他们在面对快速变迁的行业环境时感受到巨大压力。结果可能导致操作失误或维护不当，从而引发频繁设备故障，不仅妨碍生产效率，还潜藏安全隐患。

（五）数据利用不足

在当前的信息化浪潮下，数据正逐渐演变为现代企业最具价值的资产。然而，许多火电厂因数据利用不足而面临发展瓶颈。这种困境表现为数据采集不全面和实时监控系統匱乏，不仅限制了能耗监测与故障预警能力，还使生产调度难以优化。由于数据存储分散且整合困难，加之分析能力欠缺，这些资源无法有效转化为决策依据。

四、百万机组火电集控运行的节能优化策略

（一）设备更新和技术改造

引入高效低耗的新型锅炉和汽轮机，不仅保证了发电效率，

还大幅减少了煤炭消耗。例如，超超临界锅炉以其卓越的热效率和较低排放量，使单位发电量所需煤耗显著下降。同时，先进燃烧技术如低氮燃烧器和选择性催化还原（SCR）技术，有效减少了氮氧化物排放，提高了环保性能。

对现有设备进行适时而必要的技术改造也是实现节能的重要途径。无论是锅炉、汽轮机还是发电机，通过定期检修与维护保持它们在最佳运作状态，可以显著提升系统整体效率。

（二）优化燃烧过程

在火力发电系统中，要提高整体能效，精准控制燃料和空气的比例尤为关键。通过先进的燃烧管理系统，可以实时监测燃烧室内的温度、压力以及氧气浓度，为动态调整燃料与空气配比提供可能，从而实现充分燃烧。采用分级燃烧技术，将整个过程划分为多个阶段，并独立控制每个阶段。提升燃料特性是另一个重要方向。通过精心筛选与混合不同类型煤炭，不仅改善了热值，还优化了整体燃烧性能。

（三）提高运行管理水平

为实现这一目标，需建立科学合理的运行管理制度，并制定详细的操作手册，以确保每位员工能够按照标准流程执行任务。通过定期培训和考核，提升操作人员的专业技能及应急反应能力，从而有效减少人为失误并提高系统稳定性。

同时，加强对运行数据的收集与分析非常重要。利用大数据和人工智能技术，我们可以实时监控并预测运行参数，这使得潜在问题能够被及时发现并解决。例如，通过设备故障的前瞻性预警，可以避免突发事故导致停机时间延长，从而减少能源浪费。完善绩效考核体系，将能耗指标纳入其中，也能激励员工采取积极节能措施，进一步提升整体能效^[9]。

（四）数据驱动的优化

在现代火电厂中，数据驱动的优化已成为提升能效的重要手段。一个全面的数据采集系统是关键，它如同火电厂的大脑，从燃料进厂到电力输出，每个环节都被精确记录。这些数据通过传

感器和物联网设备实时获取，为后续详尽分析奠定基础^[10]。

运用大数据和机器学习算法，我们可以从海量数据中挖掘出影响能效的关键因素。例如，一些参数微小变化可能带来意想不到的效果。通过关联分析，这些变化就像拼图的一部分，使我们看到整体画面，并指导如何调整策略。预测模型如同时间机器，让决策者提前洞悉未来能耗趋势，从而制定合理而高效的运营计划^[7]。

（五）环保措施

环保措施不仅是法律法规的要求，更是火电厂可持续发展的关键。在废气治理方面，采用高效的烟气脱硫（FGD）和烟气脱硝（SCR）技术，可以有效减少二氧化硫和氮氧化物的排放^[8]。同时，电除尘器和布袋除尘器在去除烟尘方面也发挥着重要作用。

水资源管理方面，使用闭式循环冷却系统，大幅降低新鲜水的消耗。通过废水处理及回用，实现了零排放，从而减轻了环境负担。推广太阳能、风能等清洁能源，有助于促进能源结构多元化，并减少对化石燃料的依赖。定期开展环境影响评估和风险预估，有助于及时识别并解决问题。通过 ISO14001 等国际标准化体系认证，不仅提高了企业的环保管理水平，还树立了良好的社会形象^[9]。

五、结语

综上所述，百万机组火电集控运行的节能优化是一项复杂且重要的任务。通过深入分析其运行特点，明确节能优化的必要性，并识别存在的问题，采取有效的优化策略，可以显著提高火电厂的能效，降低发电成本，从而提升经济效益^[10]。通过设备更新与技术改造、燃烧过程优化、运行管理水平提升、数据驱动的优化以及环保措施等多方面努力，进一步提高百万机组火电集控运行的能效，降低发电成本，实现经济与环境效益的双赢。

参考文献

- [1] 邵长军. 新时期火电厂集控运行节能降耗策略研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(06): 181-183.
- [2] 胡海亮. 发电厂集控运行系统的节能降耗技术分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(06): 332-334.
- [3] 王文兆. 火电厂集控运行的节能降耗措施分析 [J]. 能源与节能, 2023, (10): 77-79.
- [4] 徐亮亮. 火电厂集控运行节能降耗技术探讨 [J]. 节能与环保, 2023, (09): 53-55.
- [5] 刘宗强. 火电厂集控运行中的节能降耗方法及建议 [J]. 大众标准化, 2023, (16): 112-114.
- [6] 张良虎. 火电厂电气设备运行安全管理与故障处理分析 [J]. 电力设备管理, 2024(3): 211-213.
- [7] 刘东英. 发电企业机组检修进度风险分析 [J]. 电工技术, 2024, (04): 201-204.
- [8] 任保亮. 发电厂汽轮机组节能降耗措施 [J]. 能源与节能, 2024, (07): 92-94+98.
- [9] 刘金梦. 电厂集控运行汽轮机的优化措施研究 [J]. 模型世界, 2023(34): 68-70.
- [10] 尹政伟. 火电厂锅炉运行控制及故障预防研究 [J]. 今日自动化, 2023(10): 10-12.

火力发电锅炉低氮燃烧技术的性能评估

王尚国

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司，贵州 绥阳 563300

摘要： 火力发电锅炉采用低氮燃烧技术，旨在减少氮氧化物（NO_x）排放，提高燃烧效率，并兼顾锅炉稳定性与经济性。本文评估了低氮燃烧技术在燃烧效率、NO_x排放浓度、锅炉稳定性、经济性和技术适应性五个方面的表现。通过采用二次风垂直分级高位燃尽风系统、主燃烧器区二次风喷嘴优化设计等策略，实现了燃烧效率的提升和NO_x排放的大幅降低。同时，锅炉稳定性得到保障，经济性显著，且该技术对不同煤种和锅炉类型的适应性良好。

关键词： 低氮燃烧技术；火力发电锅炉；燃烧效率

Performance Evaluation of Low-Nitrogen Combustion Technology for Thermal Power Generation Boilers

Wang Shangguo

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., LTD. Suiyang, Guizhou 563300

Abstract： Low-nitrogen combustion technology is employed in thermal power generation boilers to reduce nitrogen oxide (NO_x) emissions, enhance combustion efficiency, and balance boiler stability and economy. This paper evaluates the performance of low-nitrogen combustion technology in five aspects: combustion efficiency, NO_x emission concentration, boiler stability, economy, and technical adaptability. By adopting strategies such as the secondary air vertical staging high-level burnout air system and optimized design of secondary air nozzles in the main burner area, improved combustion efficiency and significant reduction in NO_x emissions are achieved. Simultaneously, boiler stability is ensured, economic benefits are notable, and the technology demonstrates good adaptability to different coal types and boiler configurations.

Keywords： low-nitrogen combustion technology; thermal power generation boiler; combustion efficiency

随着环保要求的日益严格，火力发电锅炉的氮氧化物排放问题日益凸显。低氮燃烧技术作为燃煤电厂氮氧化物控制的首选技术，受到了广泛关注。本文将对低氮燃烧技术的性能进行全面评估，以期为火力发电锅炉的环保改造提供参考。

一、燃烧效率评估策略

（一）燃烧器优化设计

为了提升燃烧效率，燃烧器的优化设计显得尤为重要。在燃烧器优化设计中，采用了水平浓淡煤粉燃烧技术。这种技术通过调整煤粉在燃烧器内的分布，使得煤粉在燃烧过程中能够更充分地空气混合，从而提高燃烧效率。同时，还引入了高浓缩比、低阻力的煤粉浓缩技术，进一步提升了煤粉的燃烧效率。这种技术通过优化煤粉的浓缩过程，使得煤粉在燃烧前能够更好地与空气预混合，从而提高了煤粉的燃烧速度和燃烧完全度。此外，在燃烧器优化设计中，还注重了燃烧器的材质和制造工艺。采用耐高温、耐腐蚀的材料，以及先进的制造工艺，确保了燃烧器的稳定性和耐久性。这不仅提高了燃烧器的使用寿命，还降低了锅炉的维护成本^[1]。

（二）燃烧参数调整

燃料供给量与送风量作为燃烧过程中的两大核心参数，其合

理设置对于确保燃烧系统内部稳定、促进燃料充分燃烧至关重要。燃料供给量的调整需根据锅炉的实际负荷和煤质特性进行。通过精确控制给煤机的转速或频率，可以实现对燃料供给量的实时调节。同时，送风量的调整也是关键。合理的送风量不仅能够为燃料提供充足的氧气，还能够有效调节炉膛温度，避免局部过热或燃烧不充分的现象^[2]。在调整燃烧参数时，还需密切关注炉膛出口的氧含量。通过调节送风量，使炉膛出口的氧含量保持在合理范围内，既能保证燃料的充分燃烧，又能避免过量的空气带入炉膛，造成热损失。

（三）实时检测与调整

现代火力发电锅炉已广泛采用便携燃烧效率分析仪等先进检测设备，这些设备能够实时、准确地监测锅炉的燃烧状态，包括火焰温度、烟气成分、燃烧产物浓度等关键参数。通过实时监测，可以及时发现燃烧过程中的异常情况，如火焰不稳定、燃烧不完全等。一旦发现问题，立即根据监测结果进行有针对性的调整。例如，当发现火焰温度偏低时，可以适当增加燃料供给量或

作者简介：王尚国（1992.07-），男，汉族，吉林省永吉县人，本科，助理工程师，研究方向：生态环保、热能与动力工程、火力发电厂、电力工程。

提高送风量；当发现烟气中氮氧化物含量超标时，可以调整燃烧器的角度或喷口尺寸，以减少氮氧化物的生成。

二、NO_x 排放浓度评估策略

（一）采用二次风垂直分级高位燃尽风系统

为了实现这一目标，采用了二次风垂直分级高位燃尽风系统。该系统将二次空气进行垂直分级，即把一部分二次空气与主燃烧区分离，而在锅炉炉膛的上部设置高位燃尽风喷口。这种设计在燃烧过程中形成了一个独特的还原气氛区域。在主燃烧区内，煤粉与一次空气混合并初步燃烧，产生大量的热量和一定的 NO_x。而当进入还原气氛区域时，由于氧气含量相对较低，已生成的 NO_x 会被还原成氮气，从而有效抑制了燃料氮向 NO_x 的转化。此外，高位燃尽风系统还为燃料提供了充足的氧气，以确保燃料在炉膛上部能够完全燃烧^[3]。

（二）优化主燃烧器区二次风喷口设计

在火力发电锅炉中，主燃烧器区的二次风喷口设计对于 NO_x 排放浓度的控制具有重要影响。为了降低 NO_x 的生成，需要对二次风喷口进行合理设计。具体而言，优化后的二次风喷口形状、尺寸和布置都经过了精心计算。这样的设计可以确保二次空气在喷入炉膛时，能够与煤粉实现充分混合。混合的均匀性不仅提高了煤粉的燃烧效率，还减少了局部高温区域的形成，从而降低了热力型 NO_x 的生成。此外，优化后的二次风喷口还可以根据锅炉的实际运行情况进行调节。通过调整二次风的流量和速度，可以进一步控制燃烧过程中的氧气浓度，从而抑制燃料型 NO_x 的生成。

（三）SCR 烟气脱硝技术结合

当火力发电锅炉的 NO_x 排放浓度通过燃烧优化措施仍无法达到环保标准时，需要考虑采用更高级别的减排技术。此时，选择性催化还原（SCR）烟气脱硝技术便成为了不可或缺的选择。SCR 技术通过在锅炉尾部烟道内设置催化剂层，利用氨气或尿素等还原剂，在催化剂的作用下，将烟气中的 NO_x 还原成氮气和水蒸气。这一过程需要在一定的温度范围内进行，以确保催化剂的活性和反应效率。结合 SCR 烟气脱硝技术，可以进一步降低 NO_x 排放浓度，使其达到甚至低于环保标准。同时，SCR 技术的运行稳定可靠，对锅炉的正常运行影响较小^[4]。

三、锅炉稳定性评估策略

（一）燃烧过程优化

锅炉的稳定性直接关系到火力发电厂的运行效率和安全性。为了确保锅炉的稳定运行，需要对燃烧过程进行优化。在燃烧过程中，燃料的供给和送风量的稳定是关键。通过精确控制燃料供给系统，可以确保煤粉或燃油的连续、均匀供给，避免燃料供应不足或过量导致的燃烧不稳定。同时，送风系统的优化也至关重要。通过合理调节送风量，可以确保炉膛内的氧气浓度适中，既不过量也不缺少，从而避免燃料因缺氧而燃烧不完全或因氧气过

剩而产生大量 NO_x。此外，燃烧过程的优化还包括对燃烧器材的保护。通过调整燃烧器的角度和喷口尺寸，可以避免火焰直接冲刷燃烧器材，从而减少燃烧器材的磨损和烧毁风险^[5]。

（二）压力与温度控制

锅炉内部的压力和温度是影响其稳定运行的关键因素。为了确保锅炉的高效、安全运行，必须对这两个参数进行严格控制。在锅炉运行过程中，压力的稳定至关重要。通过调节锅炉的进水量和蒸汽排放，可以保持锅炉内部压力在设定范围内波动，从而确保蒸汽的稳定产生和输送。同时，压力的稳定也有助于减少锅炉部件的磨损和泄漏风险，延长锅炉的使用寿命。温度的控制同样不可忽视^[6]。锅炉内部的温度直接影响燃料的燃烧效率和蒸汽的质量。通过调整燃烧器的火焰强度和送风量，可以精确控制炉膛内的温度，使其保持在最佳燃烧范围内。这样不仅可以提高燃料的燃烧效率，还可以减少有害物质的排放，保护环境。

（三）智能燃烧优化系统

在锅炉稳定性评估中，智能燃烧优化系统正逐渐成为不可或缺的一部分。这一系统通过集成先进的传感器和数据分析技术，能够实时监测锅炉的各项运行参数，如燃料供给量、送风量、炉膛温度、压力等。智能燃烧优化系统不仅具备实时监测功能，更重要的是能够进行在线调整。当系统检测到锅炉运行参数偏离设定范围时，会立即启动调整机制，通过精确控制燃料供给和送风量等参数，使锅炉迅速恢复到稳定状态。这种实时的反馈和调整机制，大大提高了锅炉的稳定性和安全性。此外，智能燃烧优化系统还能够根据锅炉的历史运行数据和当前工况，预测未来的运行趋势，为操作人员提供决策支持。这样，操作人员可以更加准确地判断锅炉的运行状态，及时采取预防措施，避免潜在的安全隐患。

四、经济性评估策略

（一）节省脱硝剂费用

在燃煤电厂或工业锅炉等排放氮氧化物的场所，传统上常使用脱硝剂来减少氮氧化物的排放。然而，脱硝剂的使用成本较高，对企业的运营支出造成了一定压力^[7]。此时，采用低氮燃烧技术成为了一个有效的解决方案。低氮燃烧技术通过优化燃烧过程，调整燃烧参数，如燃烧温度、氧气浓度和燃料与空气的混合方式，从而减少燃烧过程中氮氧化物的生成。这一技术的应用，能够显著降低氮氧化物的原始排放浓度，进而减少了对脱硝剂的依赖。实践表明，在引入低氮燃烧技术后，许多企业的脱硝剂使用量有了明显下降，从而节省了脱硝剂的采购、储存和运输等成本。此外，低氮燃烧技术还带来了其他经济效益。例如，由于燃烧效率的提高，燃料的消耗量也相应减少，进一步降低了企业的运营成本^[8]。

（二）减少催化剂折旧与维护费用

特别是在选择性催化还原（SCR）系统中，催化剂作为核心部件，其性能与寿命直接影响着系统的运行效率与成本。通过降低 SCR 系统入口的 NO_x（氮氧化物）浓度，可以有效减轻催化剂

的负担，进而减少催化剂的使用层数。降低 SCR 系统入口 NO_x 浓度，意味着催化剂在相同的处理量下，所面临的反应压力减小，催化剂的活性得以保持更长时间，从而延长了催化剂的使用寿命。这不仅减少了因催化剂频繁更换而产生的折旧费用，还降低了因更换催化剂而带来的系统停机时间和维护成本。此外，减少催化剂层数还有助于降低 SCR 系统的整体建设成本。每一层催化剂的添加都需要相应的支撑结构和配套设施，减少层数意味着可以减少这些额外的建设费用。

（三）提高能源利用率

通过优化燃烧过程，可以显著提升燃料的利用效率，从而直接降低企业的运营成本。优化燃烧过程涉及对燃烧设备的精细调整，包括燃烧温度、氧气供给、燃料与空气的混合比例等参数的优化。这些调整旨在确保燃料能够更充分、更高效地燃烧，释放出更多的能量。同时，减少不完全燃烧产生的废弃物和污染物，如黑烟和碳粒，也有助于提升整体能源利用效率。提高燃料利用率不仅意味着企业能够以更少的燃料消耗产生更多的能量，还减少了因燃料浪费而带来的额外成本^[8]。

五、技术适应性评估策略

（一）煤种适应性

低氮燃烧技术作为一种先进的燃烧控制技术，展现出了对不同煤种的高度适应性。在实际应用中，煤种的特性，如挥发分含量、灰分、硫分以及固定碳含量等，都会对燃烧过程产生影响。低氮燃烧技术通过灵活调整燃烧参数，如燃烧温度、空气流量、燃料供给速率等，可以有效应对这些差异，确保在各种煤种下都能实现低氮排放^[9]。对于高挥发分煤种，低氮燃烧技术可以通过优化燃烧初期的燃烧条件，减少氮氧化物的生成。而对于低挥发分煤种，则可以通过提高燃烧温度和加强空气与燃料的混合，来提高燃烧效率和降低氮氧化物排放。

（二）锅炉类型适应性

在技术适应性评估策略中，锅炉类型适应性是衡量一项技术广泛应用潜力的重要指标。低氮燃烧技术展现出了对多种类型锅炉的强大适应性，无论是四角切圆燃烧锅炉，还是 W 火焰锅炉，都能有效融入并发挥其低氮排放的优势。四角切圆燃烧锅炉以其独特的燃烧方式和较高的燃烧效率，在大型电站锅炉中占据重要地位。低氮燃烧技术通过优化四角喷燃器的布置和燃烧参数，可以在保证燃烧效率的同时，显著降低氮氧化物的排放。而对于 W 火焰锅炉，其独特的火焰形状和燃烧特性，使得低氮燃烧技术的应用更具挑战性。

（三）负荷适应性

为了确保在负荷变动时低氮燃烧技术仍能发挥最佳效果，需要对燃烧参数进行实时优化调整。这包括调整燃料供给量、燃烧空气流量、燃烧器角度等，以适应负荷变化带来的燃烧条件变化。通过精确控制这些参数，可以确保在负荷上升或下降时，燃烧过程仍能保持稳定，氮氧化物的生成得到有效抑制。此外，负荷适应性还体现在低氮燃烧技术对不同负荷工况下的适应性。在锅炉低负荷运行时，通过调整燃烧策略，如减少燃烧器投入数量、降低燃烧温度等，可以避免燃烧不稳定和氮氧化物排放超标的问题。而在高负荷运行时，则通过增加燃烧器投入、提高燃烧效率等措施，确保锅炉的稳定运行和低氮排放^[10]。

六、结论

低氮燃烧技术在火力发电锅炉中表现出色，不仅提高了燃烧效率，降低了 NO_x 排放浓度，还确保了锅炉的稳定性和经济性。同时，该技术对不同煤种和锅炉类型的适应性良好，具有广泛的应用前景。未来，应继续优化低氮燃烧技术，提高其在各种工况下的稳定性和效率，为火力发电行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 张勇涛. 火力发电厂锅炉安装主要工艺及技术措施解析 [J]. 中国设备工程, 2023, (05): 110-112.
- [2] 郭向兵. 火力发电厂锅炉运行控制的节能策略研究 [J]. 当代化工研究, 2021, (05): 163-164.
- [3] 全威. 火力发电设备锅炉检修新方法及其维护对策 [J]. 中国设备工程, 2020, (21): 72-73.
- [4] 王灏. 火力发电锅炉节能降耗对策与措施研究 [J]. 设备管理与维修, 2020, (18): 159-160.
- [5] 林恩志. 火力发电锅炉节能降耗的对策与措施分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(12): 54-55+114.
- [6] 简越, 陈超. 对冲燃烧锅炉低氮燃烧改造技术探析 [J]. 中国设备工程, 2022, (08): 162-163.
- [7] 孙佳东. 火电厂锅炉低氮燃烧改造及运行优化 [J]. 中外企业家, 2019, (32): 122.
- [8] 鲍永武. 低氮燃烧背景下的火力发电厂微油点火应用 [J]. 山东工业技术, 2018, (20): 191.
- [9] 王广龙. 火力发电机组提高 AGC 调节品质及其影响 [D]. 华北电力大学 (北京), 2016.
- [10] 王雷. 电厂锅炉低氮燃烧器改造项目综合评价研究 [D]. 华北电力大学, 2016.

继电保护装置故障检测方法研究

高欣

准能集团供电公司，内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要： 在现代电力系统规模不断扩大、结构日益复杂的背景下，电力供应的稳定性和安全性面临着前所未有的挑战。本文对继电保护装置的故障检测技术进行了深入探讨。说明继电保护装置具有可靠性和选择性两方面的特性。对其故障检测进行了必要性分析，还讨论了存在的问题，最后提出了针对性的策略。其目的是为了提高继电保护装置故障检测精度与效率，确保电力系统安全、可靠地运行，促进电力行业的发展。

关 键 词： 继电保护；装置；故障检测

Research on Fault Detection Methods of Relay Protection Devices

Gao Xin

Zhunneng Group Power Supply Company, Ordos, Inner Mongolia 010300

Abstract： Under the background of expanding scale and complex structure of modern power system, the stability and security of power supply are facing unprecedented challenges. In this paper, the fault detection technology of relay protection device is deeply discussed. The relay protection device has the characteristics of reliability and selectivity. The necessity of fault detection is analyzed, the existing problems are discussed, and the corresponding strategies are put forward. The purpose is to improve the fault detection accuracy and efficiency of the relay protection device, ensure the safe and reliable operation of the power system, and promote the development of the power industry.

Keywords： relay protection; device; fault detection

引言

在电力系统规模越来越大、复杂程度越来越高的情况下，继电保护装置是保证电力系统安全和平稳运行的关键设备之一，它的重要性越来越突出。但是在继电保护装置工作期间可能存在多种故障，如果不能及时精准的发现，就会给电力系统带来严重影响，例如停电事故和设备损坏。所以对继电保护装置的故障检测方法进行深入的研究有着非常现实的意义。

一、继电保护装置的特点

（一）可靠性

继电保护装置要求在多种复杂环境条件下能平稳，可靠的运行。比如在温度高，湿度大的变电所环境下，它的电子元件以及机械结构一定要能长时间正常工作而不会受到环境因素的干扰。可靠的继电保护装置能够在规定的保护范围内，需要动作时精确动作和不需要动作时不做动作。这需要它在硬件设计上使用优质元件，在软件编程上进行严格检验与测试^[1]。

（二）选择性

当电力系统发生故障时，继电保护装置应能有选择地切除故障部分，而保证非故障部分继续运行。例如，在一个具有多个支路的输电线路中，如果某一支路发生短路故障，靠近故障点的继电保护装置应首先动作，将故障支路切除，而其他正常支路的继电保护装置不应动作，从而最大限度地减少停电范围。这就需要继电保护装置根据故障电流的大小、方向等特征来准确判断故障

位置。

（三）快速性

继电保护装置需要能迅速发现故障，做出相应的行动。以高压输电的线路故障为例，故障发生后，继电保护装置应在极短的时间内（如几十毫秒）发出跳闸信号，以防止故障电流对设备造成进一步的损坏。快速动作能够降低故障对电力系统造成的影响，保持系统稳定并避免扩大故障范围。

（四）灵敏性

对保护范围内发生的故障不论其故障点位置和故障类型，继电保护装置均应能够灵敏响应。例如，在一个具有不同短路电阻的短路故障情景下，继电保护装置要能够准确地检测出微弱故障信号。灵敏性需要保护装置具有较强的故障反应能力，甚至对于小电流接地故障这种比较难以发现的故障类型也能够进行可靠的发现^[2]。

（五）智能化

现代继电保护装置具有一定的智能化特点。它能对所收集的

资料进行分析处理并自动识别出故障类型及位置。如某些智能继电保护装置可通过内置算法，分析电流，电压等波形来判断是否为相间短路，接地短路等复杂故障类型并可基于历史数据自我学习优化。

（六）可通信性

继电保护装置具有通信功能并能实现与变电站其他装置以及远程监控中心信息交互。通过通信网络它能把自己的运行状态，故障信息等等及时上传到控制中心，还能收到从控制中心发出的命令。如保护装置发现异常而达不到跳闸阈值，则可向监控中心发送信息，技术人员可做进一步分析决策。

二、继电保护装置故障检测的必要性

（一）保障电力系统稳定运行

电力系统是个复杂网络，只要有一个地方发生故障就会引起连锁反应。继电保护装置失效后没有及时发现，就会造成真正发生电力故障时不能正确行动。以某大型电网为例，若单条输电线路继电保护装置失效，当线路短路后可能不能及时断开故障电流，这样的情况会导致故障扩散至其他连接的电线和设备，最后可能引发大规模的停电事件，从而对整个电力系统的稳定运作产生不良影响。

（二）保护电力设备安全

故障电流会对电力设备造成严重的破坏。继电保护装置能否正常工作，是制约故障电流给装置造成损坏程度的一个关键。如果设备的故障检测功能出现故障，如过载、短路等，并且不能迅速断开电路，那么设备，如变压器、发电机等，可能会因为长时间承受过大的电流而损坏，从而导致巨大的经济损失。又如某大型变压器发生短路故障时，若继电保护装置不能发现故障而跳闸的话，变压器的内部绕组就会由于过热而被破坏，维护费用较高，维护周期也较长^[3]。

（三）提高供电质量

准确地进行故障检测可以保证继电保护装置的适时动作，降低故障给供电带来的冲击。以城市供电网络为例，经常发生故障停电现象将严重影响到居民及企业的正常使用。若继电保护装置故障能够得到及时发现并维修，则可以避免保护装置误动或者拒动而造成不必要的断电，确保供电持续稳定，改善供电质量并满足用户用电要求。

（四）满足电力系统发展需求

伴随着新能源接入，分布式电源广泛使用以及电力系统智能化进程的不断推进，电力系统结构与运行方式都发生了巨大改变。继电保护装置需适应上述新变化，故障检测功能是否有效直接影响整个新型电力系统可靠性。例如，在一个包含众多分布式光伏电源的配电网中，故障电流的幅度和方向与传统电网存在显著差异，只有通过可靠的故障检测手段，才能确保继电保护装置在新的环境条件下能够正常工作。

（五）降低运维成本

对继电保护装置故障进行及时发现，能够避免因故障扩大化

而增加维修成本。如不能及时发现故障，就有可能造成有关设备损坏并加大维修工作量及费用。并且，通过高效的故障检测能够对保护装置实施针对性的维修与替换，避免了不必要的经常性综合大修，提升了运维效率并减少了运维成本^[4]。

（六）增强电力系统的安全性

电力系统的安全包括人员，设备安全保障。继电保护装置在正常工作过程中可能发生误动作而导致不必要断电，故障发生后甚至拒动而发生电气火灾和其他安全事故。通过改进故障检测方法能够确保继电保护装置正常工作，提高电力系统安全性，保障人员生命安全，降低财产损失。

三、继电保护装置故障检测的现存问题

（一）检测方法的局限性

传统继电保护装置故障检测方法大多是以阈值判断为主，逻辑分析简单。比如通过对电流和电压设置阈值判断故障。但该方法遇到复杂故障情况具有局限性。如果发生高阻接地故障，故障电流有可能小于传统设定阈值而造成检测失效。并且，在某些间歇性故障中，以固定阈值为基础的检测方法不一定能准确地捕捉故障信号，易产生误判或者漏判现象^[5]。

（二）故障信息不准确

在收集故障数据的过程中，继电保护设备可能会受到电磁干扰等外部因素的干扰。如在变电站这样的高电磁环境下，传感器捕获的电流和电压信号可能会产生失真现象。如附近发生大型开关操作或者雷击等情况，所产生的电磁脉冲就可能与正常信号叠加，使采集的故障信息不够精确，影响了故障检测精度。并且，传感器自身精度以及老化问题都会造成所采集信息偏离真实故障情况。

（三）缺乏自适应能力

目前已有的很多继电保护装置失效检测手段自适应能力不足。在电力系统运行方式发生改变，例如电网结构调整和负载变化时，一成不变的检测算法不一定能满足新运行工况的要求。以某工业用电区域为例，由于大量新增设备并网造成负载显著增大，原根据具体负载条件而制定的故障检测方法有可能发生误动作或者不能发现某些潜在的故障^[6]。

（四）硬件故障检测困难

继电保护装置硬件主要由电路板，芯片和继电器几个部分组成。硬件故障种类较多，有芯片老化，继电器触点磨损。这些硬件故障不一定马上就会呈现出显着的故障特点，并且检测起来需要比较复杂的装置与技术。比如电路板微小短路或者开路故障也许难以用常规检测手段检测出来，这就需要有专业电子检测设备及有经验技术人员来检查。

（五）数据处理能力不足

伴随着电力系统的不断扩大以及智能化程度不断提升，继电保护装置要对海量故障数据进行处理。但目前已有的几种保护装置都存在着数据处理能力不足的问题。如面对大量电流，电压波形数据，设备可能不能及时高效地分析数据并提取出有用信息而

造成故障检测滞后。并且，有限的数据存储容量还会造成一些故障数据的损失，从而影响到后续故障的分析与诊断^[7]。

（六）通信故障影响检测

继电保护装置故障检测主要是靠和其他装置进行通讯。通信链路失效会造成故障信息不能及时上传，或者命令收不到。比如，在通信光纤遭到破坏或者通信协议发生错误等情况下，保护装置在没有收到中心发出的控制指令的前提下，可能不能向监控中心通报当地发现的故障，大多都会影响故障检测与处理的全过程，甚至会造成保护装置误动或者拒动。

（七）人员技术水平参差不齐

从事继电保护装置故障检测与测试的工作人员技术水平参差不齐。部分基层运维人员对于新型继电保护装置及故障检测技术可能缺乏认识。例如，在遭遇具备智能功能的继电保护设备出现故障的情况下，他们可能不能准确地解读该设备所提供的复杂故障信息，也可能无法准确地识别出故障的根本原因，因而不能对故障进行有效检测与维修，影响了电力系统整体故障处理效率^[8]。

四、继电保护装置故障检测的策略

（一）改进检测算法

在进行故障检测时，我们可以改进自己的检测算法。如利用小波变换算法其可实现电流和电压信号的多分辨率分析并能有效地检测信号突变部分，在高阻接地和间歇性复杂故障情况下具有较好的检测结果。同时可结合神经网络算法对海量故障数据进行学习训练，实现保护装置对不同故障类型及运行工况的自适应，提升了检测智能化程度。

（二）优化数据采集

利用抗干扰能力较强的传感器及数据采集设备降低电磁干扰在故障信息采集中的作用。如采用屏蔽性能好的电流互感器、电压互感器等，并在传感器设计中加入电磁屏蔽层、滤波电路等对电磁干扰信号进行过滤。同时定期校准与维修传感器以保证传感器的精度并提高所收集故障信息准确性^[9]。

（三）增强自适应能力

在进行继电保护装置故障检测时我们可以设计一种带自适应的故障检测系统。将自适应算法嵌入保护装置，检测阈值及逻辑随电力系统运行参数改变而实时整定。比如当电网负载变化时，

该系统能够自动分析负载电流变化趋势并据此调节短路电流检测阈值以确保在各种负载情况下均能够精确检测出故障并避免运行方式变化带来的错误判断。

（四）完善硬件检测技术

硬件检测时应该采用先进硬件检测技术，对继电保护装置硬件进行故障检测。若利用红外热成像技术则可探测电路板中元件温度异常并及时发现可能过热故障。对芯片这类关键部件可采用在线监测技术对其工作状态进行实时监控，例如通过对芯片电源电流和工作频率这类参数进行监测以判断故障发生情况。同时建立了完整的硬件故障诊断数据库以提高硬件故障诊断工作效率。

（五）提高数据处理能力

电力系统可以通过增强继电保护装置数据处理芯片的性能，提高数据的存储容量。例如，当使用高速数字信号处理器（DSP）芯片时，它能够迅速地处理众多的电流和电压信息，从而加速数据的处理过程。同时对数据处理算法进行了优化，利用数据压缩技术降低了数据存储量并提高了数据存储与处理效率。另外，有可能构建一个分散式的数据处理框架，将某些数据处理任务分派给其他相关的设备，从而降低保护装置在数据处理方面的压力^[10]。

（六）提高人员技术水平

管理层可以加大继电保护装置故障检测人员培训力度。定期举办技术培训课程有新型继电保护装置原理和先进故障检测技术。鼓励技术人员参与行业研讨会、技术交流活动等，开阔技术视野。同时对技术人员建立考核机制，鼓励其不断地学习与提升技术水平，保证能熟练处理各类继电保护装置的故障检测与检修任务。

五、结语

继电保护装置的故障检测，是确保电力系统安全平稳运行的关键环节之一。本文通过对继电保护装置特点，故障检测必要性，存在问题进行分析，提出相关策略。从完善检测算法，优化数据采集以及增强自适应能力几个方面采取措施，能够有效地提高继电保护装置故障检测精度与效率，降低由于保护装置故障而造成电力系统事故的发生率，推动电力行业持续健康发展。今后的研究工作仍需继续关注电力系统新变化、新技术，并进一步改进故障检测方法使其能够满足更复杂电力系统工作环境。

参考文献

- [1]李猛. 基于支持向量机的电力二次设备继电保护装置故障检测方法[J]. 电工技术, 2023,(09):136-138+141.
- [2]王笛. 电力系统继电保护装置故障检测方法研究[J]. 大众用电, 2021,36(10):62-63.
- [3]王旭星. 火力发电厂继电保护装置故障检测及处理方法分析[J]. 智能城市, 2021,7(11):87-88.
- [4]王嘉昊, 陆昊鹏. 电力系统继电保护及故障检测方法研究[J]. 光源与照明, 2021,(05):58-59.
- [5]张文. 继电保护中的故障检测与应对策略[J]. 光源与照明, 2021,(05):60-61.
- [6]邢大江. 火力发电厂继电保护装置故障检测与维修方法研究[J]. 中国设备工程, 2018,(22):100-101.
- [7]包学成. 电力继电保护装置故障检测方法研究[J]. 电工技术, 2018,(22):30-31.
- [8]谢秋明. 电力继电保护装置及故障诊断[J]. 电子技术与软件工程, 2018,(10):236.
- [9]郭亚楠, 陈献庆, 叶留义, 等. 嵌入式继电保护装置在线故障检测方法研究[J]. 信息技术, 2018,(04):79-82+87.
- [10]韩化. 火力发电厂继电保护装置故障检测与维修方法研究[J]. 科技风, 2016,(14):162.

新能源生产管理中的技术创新与发展策略研究

马万军

贵州金元陕西新能源公司, 陕西 西安 710000

摘 要： 随着全球能源转型加速，新能源产业蓬勃发展，本文对新能源生产管理技术创新发展战略进行了深入探究。首先通过对新能源领域所面临挑战和机遇的分析；其次说明了技术创新对于提高生产效率，降低成本和加强可持续性所起到的至关重要的作用；最后对具体案例的分析，有针对性地提出发展策略，以期对新能源产业持续发展起到理论支持与实践指导作用。

关 键 词： 新能源；生产管理；技术创新；发展策略

Research on Technological Innovation and Development Strategies in New Energy Production Management

Ma Wanjun

Guizhou Jinyuan Shaanxi New Energy Company, Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract： With the acceleration of global energy transformation, the new energy industry is booming. This paper conducts in-depth research on the strategic development of new energy production management technology innovation. Firstly, the challenges and opportunities faced by the new energy field are analyzed; secondly, the crucial role of technological innovation in improving production efficiency, reducing costs, and enhancing sustainability is explained; finally, specific case analysis is conducted to provide targeted development strategies, with the aim of providing theoretical support and practical guidance for the sustainable development of the new energy industry.

Keywords： new energy; production management; technological innovation; development strategy

引言

在全球能源需求持续增长、环境问题日趋严重的背景下，开发利用新能源已成为世界各国研究的热点。就新能源生产管理而言，技术创新为产业发展提供核心动力。本研究目的在于对新能源生产管理技术创新发展战略进行深入剖析，以期对新能源产业可持续发展提供一些有益思路及方法。

一、新能源生产管理的特点

（一）技术密集性

新能源的生产对于先进科学技术的依赖性极强。以太阳能光伏技术为例，既需要对半导体材料特性及光电转换原理方面的专门知识有深刻的了解，又需要高精度的生产设备。专业人才在开发与应用的过程中起到了至关重要的作用，其利用大量的知识与经验不断地进行探索与创新，从而保证了高效稳定地进行产品的制造。与此同时，严把质量关是技术密集的表现，无论是原料的选用还是生产过程中的各个环节都要进行准确的控制，才能确保产品性能与品质达标。

（二）环境友好性

新能源生产在环境友好方面表现出明显特点。风能发电是利用自然风力进行发电，不会产生污染物及温室气体等，不会对大气环境造成不利影响。太阳能光伏发电也是一种洁净无污染的发电

方式，它通过把太阳能转换成电能来绿色地获取能源。在全球越来越注重环境保护的今天，新能源所具有的环境友好性使得新能源成为了可持续发展中的一个重要的选择。在满足人类能源需求的同时，也能够有效地降低传统能源生产给环境带来的危害，给予子孙后代营造一个更好的生态环境^[1]。

（三）投资规模大

新能源项目的建设通常需要大量的资金投入。大型风力发电场的建设涵盖了设备采购，土地租赁，工程建设等诸多领域。购买先进风力发电设备费用较高，而且要进行专业安装与调试。此外土地租赁还需巨额资金，特别是地理位置较好，风能资源较多。工程建设中包括基础设施建设和输电线路的敷设，也同样消耗了大量的资金。同时新能源项目回收期长，给企业资金实力、融资能力等方面都带来严峻的挑战。企业在拥有充足自有资金的同时，也需要有好的融资渠道与融资能力来保障项目顺利实施。

作者简介：马万军（1982.09-），男，汉族，甘肃省民勤县人，本科，工程师，研究方向：新能源生产管理。

（四）政策依赖性强

新能源产业发展对政府政策支持具有较高依赖性。补贴政策对于新能源生产企业来说是非常关键的，可以有效地降低产品成本和增强市场竞争力。税务的优惠措施帮助企业减少了经济压力，并激励它们增加投资。此外上网电价政策保证新能源电力能顺利纳入电网，得到合理的回报。政府政策制定与执行，直接关系到新能源生产企业生存与发展问题，比如政策调整会使市场需求发生变化，企业也需适时调整策略来应对政策的改变。如果缺乏政策的扶持，新能源产业发展就会遇到很大的困难^[2]。

二、新能源生产管理中技术创新的重要性

（一）提高生产效率

技术创新对新能源的生产起着至关重要的作用，可以显著提高生产效率和降低成本。以太阳能光伏电池为例，其转换效率可通过不断地改进制造工艺来实现，使用更加先进的材料以及生产技术等。这就意味着同等光照条件下能生产较多电能以提高生产效率。与此同时，降低生产成本是技术创新所取得的一项重大成就。如优化生产流程，提高设备利用率，可减少原材料的浪费及能源的消耗并降低生产成本。这样使新能源产品更具有市场价格竞争力，有利于新能源产业迅速发展。

（二）增强产品竞争力

技术创新是研发更有竞争力新能源产品的核心力量。就储能技术而言，发展高效低成本储能技术是关键。新能源发电存在间歇性、不稳定性等特性，储能技术则能很好地解决这一难题，把过剩电能存储起来并在必要时排放出去，从而提高了能源利用效率^[3]。另外，技术创新也能研发出性能更高，寿命更长，对环境更加友好的新能源。如新型太阳能光伏电池在弱光情况下同样能够高效地产生电能或抗老化性能较好。这些创新产品可以适应多变的市场需求，提高企业在市场中的竞争力。

（三）促进可持续发展

技术创新对于促进新能源产业的可持续发展具有重要的指导意义。就生物质能转化技术而言，发展新型技术能够提高生物质能利用效率和降低化石能源消耗。如采用先进生物技术把生物质转化成高附加值能源产品既能提高能源利用效率又能降低废弃物排放量。同时开发海洋能和地热能新能源技术能扩大能源供应渠道和多元化能源，有利于减少对传统化石能源依赖，降低能源供应风险，从而为经济社会可持续发展奠定坚实能源保障^[4]。

（四）应对环境挑战

技术创新对于降低新能源生产对环境的污染与生态破坏具有举足轻重的作用。开发清洁高效新能源生产技术可减少污染物及温室气体的排放并保护环境。以风能发电为例，优化风机设计及运行控制技术可降低噪音污染及鸟类影响。太阳能光伏发电中环保型材料及生产工艺的使用能够降低对环境造成的不利影响。与此同时，大力发展循环经济模式是当前技术创新的一个重要方向。通过在新能源生产中实现资源回收与再利用可减少资源浪费，降低生产成本，达到可持续发展。

三、新能源生产管理中技术创新面临的问题

（一）技术研发投入不足

新能源技术的研究与开发需要巨额的资金扶持，而当前国内新能源企业对这一领域的投资却比较欠缺。新能源产业发展历史不长，企业一般规模不大，资金实力受限，难以承受高昂的技术研发成本。与此同时，还需要加大政府扶持力度。比如，部分中小企业因资金紧张而不能投入充足资源用于技术研发，造成技术创新能力欠缺，这既影响着企业本身的发展又制约着整个新能源产业。为了应对这一难题，企业应该积极拓宽融资渠道以获得更大的融资支持。此外政府也应该增加对新能源技术研究和开发的资金支持，出台更为有利的政策措施，以激励企业增加在研发方面的投资^[5]。

（二）人才短缺

新能源技术创新对专业人才提出了更高的要求，其中不乏科研人员，工程师和技术工人。但是，当前我国新能源领域的人才短缺现象比较严重。一方面新能源产业快速发展，人才培养赶不上行业发展需要。高校与职业院校在专业设置与课程体系等方面没有及时与新能源产业发展同步，使得所培养人才的数量与质量都不能适应市场需求。另一方面新能源领域工作环境与待遇比较差，很难吸引与保留人才。比如部分新能源企业位于偏远地区、工作条件差、薪资待遇低，造成人才流失现象比较严重。为了应对人才短缺，应该加大新能源领域人才培养力度。同时高校、职业院校要在专业设置、课程体系等方面进行优化，并与企业加强合作，以培养更多的符合市场需求的专业人才^[6]。

（三）技术创新体系不完善

我国新能源技术创新体系尚未健全，产学研合作机制与技术创新平台欠缺。这样就造成了科研成果转化率不高，企业技术创新能力不强。一方面是部分高校、科研机构研究成果脱离企业实际需要，很难实现产业化应用。另一方面企业间技术交流与协作不密切，不能形成技术创新合力。同时完善技术创新体系要强化产学研合作，搭建高校、科研机构及企业合作平台，推动科研成果转化应用。

（四）知识产权保护不力

新能源技术创新对知识产权的保护力度有待提高，但是我国现阶段在此方面仍然存在着一定的问题。另外部分企业知识产权意识薄弱，对知识产权申请与保护不够重视。他们常常只专注于技术的开发和应用，而忽略了知识产权的重要性。与此同时，由于知识产权的执法力度不足，侵权事件频繁发生，这大大降低了企业进行技术创新的积极性。为了加强知识产权保护工作，企业要增强知识产权意识，主动申请专利，商标和其他知识产权，对其技术创新成果进行保护。政府要加强知识产权执法，打击侵权行为，保障企业合法权益^[7]。

（五）市场机制不健全

新能源市场机制尚不完善，技术创新积极性受到影响。新能源产品价格形成机制不尽合理、补贴政策缺乏稳定性等问题造成了企业经济效益难以得到保障。比如新能源产品价格通常受政府

补贴影响较大，补贴政策调整会引起产品价格剧烈波动并影响到企业收益预期。与此同时，新能源市场进入门槛高、竞争不足等问题不利于技术创新与产业发展。为了完善市场机制，要构建合理的价格形成机制以减少政府补贴过多地干预市场，使市场在价格形成过程中起更大作用。同时降低新能源市场进入门槛，激励更多企业加入到竞争中来，推动技术创新与产业发展。

四、新能源生产管理中的发展策略

（一）加大技术研发投入

在新能源生产管理方面，发电企业和政府要共同努力，加大对新能源技术研发的投入，提高技术创新能力。政府可以通过设置专项资金、提供税收优惠等方式刺激发电企业加大技术研发投入。发电企业还应该提高对技术创新的重视程度，将技术研发作为企业的核心战略，加大资金投入、吸引高端人才、促进技术创新。如政府可以设立专项新能源技术创新资金扶持发电企业开展关键技术研发和产业化应用等；发电企业可以与高校、科研机构共同开展技术创新活动来提高技术研发效率^[8]。

（二）加强人才培养

在新能源生产管理中，增加新能源领域的人才培养对于发电企业来说非常重要，同时也是企业技术创新能够提供坚实人才保障的重点。政府与发电企业须共同增加人才培养投入，积极构建并完善人才培养体系。从政府方面来看，可以通过设立丰厚奖学金、广泛提供实习机会的有效途径，大力调动高校、职业院校新能源领域专业人才的积极性，为发电企业提供新鲜血液。并且发电企业还应该注重内部培训工作的开展，不断的提升员工的技术水平以及创新能力。例如发电企业可与高校紧密合作共同建设实习基地，为学生提供宝贵的实习机会，从而培养出更多符合实际需求的实用型人才，给发电企业中新能源领域的持续发展注入了持续活力^[9]。

（三）完善技术创新体系

建立健全新能源技术创新体系，提高科研成果转化率是关键。对发电企业，政府要加大新能源技术创新引导和支持力度。建设产学研合作机制建立发电企业，高校和科研机构的技术创新平台。政府可通过组建技术创新联盟和组织技术交流活动等方式

促进发电企业，高校及科研机构间的技术交流和合作。如政府可以组织新能源发电企业，高校和科研机构成立技术创新联盟共同开展技术创新活动以提升发电企业技术创新效率。同时政府应加大新能源技术创新平台的建设投入，提高其服务水平和创新能力。具体而言，政府可以通过增加新能源发电企业技术研发投入来提高企业技术研发能力和服务水平，帮助新能源发电企业实现更大的技术创新突破。

（四）加强知识产权保护

当代新能源生产管理的重点在于强化新能源技术创新知识产权保护。一方面要面向发电企业开展知识产权法律法规宣传与实施工作，通过举办知识产权法律法规培训等方式切实增强发电企业知识产权意识。让发电企业充分认识知识产权的重要性，从而激发其新能源发电技术创新热情。另一方面政府应加大对知识产权侵权行为的打击力度。比如加强知识产权执法队伍建设、提高对发电企业的知识产权执法工作效率、绝不姑息侵权等等。唯有如此，才能够切实维护发电企业合法权益，从而为新能源发电技术创新创造良好法治环境，促进新能源产业持续进步和经济持续增长^[10]。

（五）健全市场机制

完善新能源市场机制，增强技术创新热情。政府要强化新能源市场监管，建立并完善市场准入制度与价格形成机制。政府可通过编制新能源产业发展规划和强化市场监管来引导新能源产业的良性发展；同时政府还要建立和完善新能源产品价格形成机制以增强其市场竞争力。如政府可编制新能源产业发展规划、确定产业发展目标及重点领域等。

五、结语

新能源生产管理的科技创新和发展策略，是促进新能源产业不断发展的重点。通过增加技术研发投入，强化人才培养，健全技术创新体系，强化知识产权保护以及完善市场机制，能够切实提升新能源生产管理水平，推动新能源产业良性发展。在今后的发展过程中要不断地进行探索与创新，从而为新能源产业提供更强大的支撑。

参考文献

- [1]徐宏. GS公司新能源电动汽车质量管理问题研究[D]. 沈阳理工大学, 2023.
- [2]唐亚波. 大唐新能源重庆公司风电场集约化生产管理对策研究[D]. 重庆工商大学, 2022.
- [3]戚继先. X公司新能源汽车电池检测项目质量管理体系优化研究[D]. 南京林业大学, 2022.
- [4]张凌. 工业互联网背景下ZC公司新能源车间生产管理优化研究[D]. 湘潭大学, 2022.
- [5]赵旭. YL化工能源生产企业库存管理优化研究[D]. 兰州交通大学, 2020.
- [6]张继凯. 新能源设备管理与技术创新探究[J]. 中国设备工程, 2020,(08):63-64.
- [7]张清辉, 陈云伟. 新能源汽车企业技术创新扩散博弈分析[J]. 科技促进发展, 2018,14(05):393-400.
- [8]郑双全, 张国刚. 新能源汽车的安全生产和现场质量管理研究[J]. 内燃机与配件, 2023,(20):87-89.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2023.20.040.
- [9]汤静娴, 刘同. 新能源汽车电池回收再制造策略研究[J]. 时代汽车, 2023,(22):138-140.
- [10]张继凯. 新能源设备管理与技术创新探究[J]. 中国设备工程, 2020,(08):63-64.

铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件设计

秦岳圣¹, 刘钊²

1. 北京交通大学自动化与智能学院, 北京 100044

2. 中国铁路北京局集团有限公司天津电务段, 天津 300140

摘要： 随着铁路运输向着高速化、重载化方向发展，对铁路信号设备的供电质量提出了越来越高的要求。本文介绍了通过采集电路板及电压电流传感器实时采集外电网及各电源模块数据，包含电压电流和相位等。设计一套智能化电源屏监测数据智能分析软件，对铁路信号智能化电源屏各模块的历史数据和实时数据进行对比分析，给出设备预警信息，实现从“故障修”到“状态修”的转变。提高了铁路信号设备的供电质量，软件具备智能监测分析、实时数据查询、信息存储和报警等功能。

关键词： 铁路信号；智能化电源屏；数据分析

Design of Intelligent Analysis Software for Intelligent Power Screen Monitoring Data of Railway Signal

Qin Yuesheng¹, Liu Zhao²

1. School of Automation and Intelligence, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044

2. China Railway Beijing Bureau Group Co., LTD. Tianjin Electricity Section, Tianjin 300140

Abstract： With the development of railway transportation towards the direction of high-speed and heavy-load, higher and higher requirements are put forward for the power supply quality of railway signal equipment. This paper introduces the data of external power grid and each power supply module by collecting circuit board and voltage and current sensor, including voltage and current and phase. A set of intelligent data analysis software of intelligent power screen monitoring data is designed to compare and analyze the historical data and real-time data of each module of railway signal intelligent power screen, and give the equipment warning information, so as to realize the change from "fault repair" to "state repair". The power supply quality of railway signal equipment is improved, and the software has the functions of intelligent monitoring and analysis, real-time data query, information storage and alarm.

Keywords： railway signal; intelligent power supply screen; data analysis

引言

铁路信号电源屏是铁路信号设备的专用供电设备，为信号系统的正常运行提供稳定、可靠、高质量的电源。铁路信号电源屏负责为铁路沿线的自动闭塞、车站联锁、调度集中、驼峰、机车信号、道口信号等铁路信号设备进行供电。电源屏设备若发生故障，会直接影响行车安全，造成严重的经济损失和不良的社会影响。传统的铁路信号电源屏检测采用人工巡检和定期检测的方式，存在检测周期长、实时性差、数据不全面等问题，无法及时发现和处理潜在的安全隐患。因此，设计一套铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件，实时监测电源屏的运行状态，提高供电质量，保障行车安全。

一、铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件总体功能

铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件是专门针对铁路信号电源屏设备设计的智能监测系统。它基于物联网、云计算、大数据等技术，实现对电源屏设备的实时监测、数据采集、

智能分析和预警报警等功能。软件采用模块化设计，由数据采集模块、数据处理模块、智能分析模块、预警报警模块和人机交互模块等组成。数据采集模块通过传感器和采集电路板实时采集电源屏设备的电压、电流、频率、相位等参数，以及环境温度、湿度等环境参数。数据处理模块对采集到的数据进行预处理、滤波、校准等操作，确保数据的准确性和可靠性。智能分析模块利

基金项目：中国高校产学研创新基金—新一代信息技术创新项目《高铁信号控制实训系统的研究与应用实践》，课题编号：2023IT233。

用机器学习、数据挖掘等技术对处理后的数据进行智能分析，提取出电源屏设备的运行状态、变化趋势等关键信息。预警报警模块根据智能分析的结果，设定合理的预警阈值和报警规则，当电源屏设备出现异常或故障时，及时发出预警或报警信息，提醒运维人员进行处理。人机交互模块提供友好的用户界面，实现数据的可视化展示、历史数据查询、报表生成等功能，方便运维人员进行设备管理和数据分析。

（一）实时监测：通过采集电路板及电压电流传感器，实时获取外电网及各电源模块的数据，包括电压、电流和相位等关键参数^[1]。

（二）智能分析：对历史数据和实时数据进行对比分析，识别电源屏的运行状态，预测潜在故障，提供预警信息。

（三）数据查询：提供便捷的数据查询功能，用户可以根据需要查询历史数据或实时数据。

（四）信息存储：将采集到的数据和分析结果存储在数据库中，便于后续的数据分析和故障排查。

（五）报警功能：当检测到异常数据时，软件能够自动触发报警，提醒用户及时处理。

二、铁路信号智能化电源屏监测系统架构

铁路信号智能化电源屏监测系统主要由数据采集层、数据传输层、数据处理层和应用层四个部分组成。

（一）数据采集层

数据采集层主要负责实时采集电源屏设备的各项运行参数。采集的参数包括输入电压、输出电压、输出电流、频率、相位等电气参数，以及温度、湿度等环境参数。采集层通过传感器和采集电路板将这些参数转化为数字信号，并进行初步的滤波和校准处理，确保数据的准确性和可靠性。

（二）数据传输层

数据传输层负责将采集到的数据从采集层传输到数据处理层。传输层采用有线或无线方式，通过以太网、光纤、移动通信网络等通信协议，实现数据的实时传输和远程访问。传输层还具备数据加密和校验功能，确保数据在传输过程中的安全性和完整性。

（三）数据处理层

数据处理层对传输层接收到的数据进行进一步的处理和分析。处理层采用分布式计算、云计算等技术，对海量数据进行存储、管理和处理。处理层通过数据清洗、数据挖掘、特征提取等算法，提取出电源屏设备的运行状态、变化趋势等关键信息，为智能分析和预警报警提供数据支持。

（四）应用层

应用层是铁路信号智能化电源屏监测系统的用户接口，主要实现数据的可视化展示、预警报警、数据分析等功能。应用层提供友好的用户界面，方便运维人员实时监测电源屏设备的运行状态，查看历史数据和报警记录，生成报表和分析报告。应用层还支持与其他系统的数据共享和联动，实现设备的远程管理和智能化运维。

三、监测数据智能分析软件功能模块设计

（一）数据采集模块设计

数据采集模块是铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件的重要组成部分，它负责实时采集电源屏设备的各项运行参数。设计数据采集模块时，需要考虑以下几个方面：

（1）传感器选型：根据电源屏设备的类型和监测需求，选择合适的传感器进行数据采集。传感器应具备高精度、高稳定性和高可靠性等特点，确保采集到的数据准确可靠。

（2）采集电路设计：设计合理的采集电路，将传感器采集到的模拟信号转化为数字信号，并进行初步的滤波和校准处理。采集电路应具备抗干扰能力强、低功耗等特点，确保数据采集的稳定性和可靠性。

（3）数据采集频率：根据电源屏设备的运行特点和监测需求，设置合理的数据采集频率。采集频率应足够高，能够捕捉到设备的瞬时变化，同时又要避免数据冗余和传输压力。

（4）数据同步与校准：对于多个传感器采集到的数据，需要进行同步和校准处理，确保数据的一致性和准确性。可以采用时间戳、数据编号等方式实现数据的同步，采用标准值、校准曲线等方式实现数据的校准^[2]。

（5）数据安全性：数据采集模块需要具备一定的安全性，防止数据被非法获取或篡改。可以采用数据加密、身份认证等方式保护数据的安全性。

（二）数据处理模块设计

数据处理模块是铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件的核心部分，它负责对采集到的数据进行预处理、滤波、校准等操作，为后续的智能分析和预警报警提供准确的数据支持。设计数据处理模块时，需要考虑以下几个方面：

（1）数据预处理：对采集到的原始数据进行预处理，包括去除异常值、填补缺失值、数据平滑等操作。预处理的目的是提高数据的质量和可靠性，为后续的分析 and 建模提供良好的基础。

（2）数据滤波：对采集到的数据进行滤波处理，去除噪声和干扰信号，提高数据的信噪比。滤波方法可以根据实际需求选择，如低通滤波、高通滤波、带通滤波等。

（3）数据校准：对采集到的数据进行校准处理，消除传感器误差和漂移等因素对数据的影响。校准方法可以根据传感器的特性和需求选择，如线性校准、非线性校准等^[3]。

（4）数据归一化：将采集到的数据进行归一化处理，将数据转化为无量纲的数值，方便后续的分析 and 比较。归一化方法可以根据实际需求选择，如最小-最大归一化、Z-score归一化等。

（5）数据存储与管理：对处理后的数据进行存储和管理，建立合理的数据结构和索引，方便后续的数据查询和分析。同时，需要设计合理的数据备份和恢复策略，确保数据的安全性和可靠性。

（三）智能分析模块设计

智能分析模块是铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件的重要组成部分，它利用机器学习、数据挖掘等技术对处理后

的数据进行智能分析,提取出电源屏设备的运行状态、变化趋势等关键信息。设计智能分析模块时,需要考虑以下几个方面:

(1) 特征提取:从处理后的数据中提取出能够反映电源屏设备运行状态和变化趋势的特征。特征提取方法可以根据实际需求选择,如主成分分析、线性判别分析、独立成分分析等。

(2) 模型建立:根据提取的特征建立合适的模型,用于对电源屏设备的运行状态进行分类、预测和诊断。模型可以根据实际需求选择,如支持向量机、神经网络、决策树等。

(3) 算法优化:对建立的模型进行算法优化,提高模型的准确性和鲁棒性。优化方法可以根据实际需求选择,如参数调优、特征选择、集成学习等。

(4) 异常检测:利用模型对处理后的数据进行异常检测,及时发现电源屏设备的异常情况。异常检测方法可以根据实际需求选择,如基于统计的方法、基于距离的方法、基于密度的方法等。

(5) 趋势预测:利用模型对电源屏设备的运行趋势进行预测,为运维人员提供决策支持。预测方法可以根据实际需求选择,如时间序列分析、灰色预测、神经网络预测等。

(四) 预警报警模块设计

预警报警模块是铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件的重要组成部分,它根据智能分析模块的结果,设定合理的预警阈值和报警规则,当电源屏设备出现异常或故障时,及时发出预警或报警信息,提醒运维人员进行处理。设计预警报警模块时,需要考虑以下几个方面:

(1) 预警阈值设定:根据电源屏设备的运行特点和监测需求,设定合理的预警阈值。预警阈值可以根据实际需求选择,如电压、电流、频率等参数的阈值,以及温度、湿度等环境参数的阈值。

(2) 报警规则制定:根据预警阈值制定合理的报警规则,包括报警级别、报警方式、报警内容等。报警级别可以根据实际情况设定,如一级报警、二级报警等;报警方式可以选择声音报警、光报警、短信报警等;报警内容可以包括故障类型、故障位置、处理建议等。

(3) 报警信息推送:当电源屏设备出现异常或故障时,预警报警模块需要及时将报警信息推送到运维人员。推送方式可以选择邮件推送、短信推送、APP推送等,确保运维人员能够及时接收到报警信息。

(4) 报警信息记录:对发出的报警信息进行记录和管理,方便运维人员进行后续的分析 and 处理。记录内容可以包括报警时间、报警级别、报警内容、处理情况等。

(5) 报警信息分析:对报警信息进行统计和分析,提取出常见的故障类型和故障原因,为运维人员提供针对性的解决方案和改进建议。

四、人机交互模块设计

人机交互模块是铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软

件的重要组成部分,它提供友好的用户界面,实现数据的可视化展示、历史数据查询、报表生成等功能,方便运维人员进行设备管理和数据分析。

(一) 主界面设计

主界面是用户与软件交互的主要窗口,应包含以下功能区域:

(1) 菜单栏:提供文件、编辑、查看、设置和帮助等常用菜单项,便于用户进行系统管理、数据导出、软件配置等操作。

(2) 工具栏:提供快速访问常用功能的按钮,如数据查询、实时监测、报警设置、历史数据分析等。

(3) 数据显示区:实时显示外电网及各电源模块的电压、电流、相位等关键数据,采用图表或仪表盘的形式直观展示。

(4) 报警信息区:实时显示设备预警和报警信息,通过颜色变化或闪烁等方式提醒用户注意。

(5) 状态指示区:显示系统运行状态,包括数据采集状态、通信状态、存储状态等。

(二) 数据采集与实时监测模块

(1) 数据采集界面:

提供数据采集的启动和停止按钮,用户可以根据需要手动控制数据采集过程。

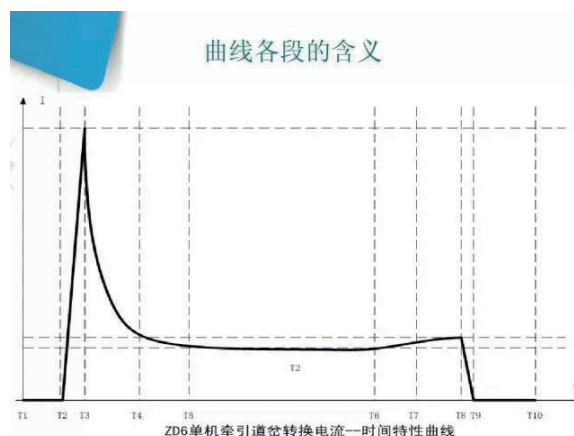
显示数据采集的实时进度和采集到的数据预览。

(2) 实时监测界面:

采用动态图表或仪表盘实时显示电压、电流、相位等数据的变化趋势(如图1所示)。

提供数据刷新频率设置,用户可以根据需要调整数据更新速度。

实时监测界面应支持多窗口显示,用户可以同时查看不同模块或不同时间段的数据。



> 图1 电源曲线采集

(三) 历史数据分析与预警模块

(1) 历史数据查询界面:

提供时间范围选择、模块选择和数据类型选择等功能,用户可以根据需要筛选和查询历史数据。

查询结果以表格或图表形式展示,支持数据导出功能。

(2) 数据分析界面:

提供数据分析工具,如趋势分析、相关性分析、频率分析

等，帮助用户深入挖掘数据背后的规律和趋势。

提供数据分析结果的可视化展示，如趋势图、散点图、直方图等。

（3）预警设置界面：

用户可以设置电压、电流等数据的预警阈值，当数据超过阈值时系统自动触发预警。

提供预警信息的自定义功能，用户可以根据需要设置预警信息的显示方式和内容。

预警设置界面应支持多种预警方式，如声音报警、短信报警、邮件报警等。

（四）报警与故障处理模块

（1）报警信息显示界面：

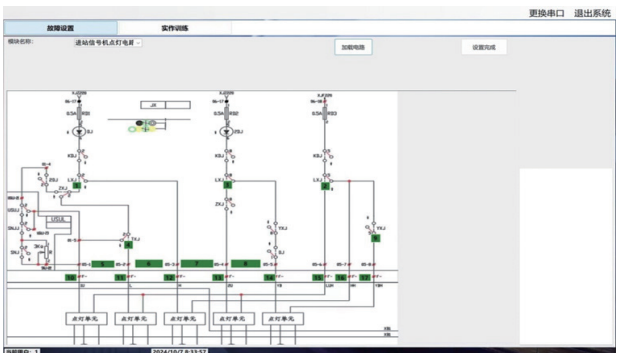
实时显示设备预警和报警信息，包括报警时间、报警类型、报警级别、报警原因等。

提供报警信息的确认和解除功能，用户可以根据实际情况处理报警信息。

（2）故障处理界面：

提供故障定位、故障分析和故障处理等功能，帮助用户快速定位故障原因并采取相应的处理措施（如图2所示）。

故障处理界面应支持故障记录的查看和导出功能，便于用户进行故障分析和总结。



> 图2 故障指导分析处理

（五）系统设置与权限管理模块

（1）系统设置界面：

提供数据采集参数设置、系统参数设置、通信参数设置等功

能，用户可以根据需要进行系统配置。

提供系统日志查看功能，记录系统运行过程中的重要事件和错误信息。

（2）权限管理界面：

提供用户管理、角色管理、权限分配等功能，确保系统数据的安全性和用户操作的合规性，权限管理界面支持多用户、多角色、多权限的灵活配置和管理。

铁路信号智能化电源屏监测数据智能分析软件的人机交互设计是确保软件易用性和有效性的关键。通过合理的界面布局、清晰的视觉层次、及时的反馈机制、丰富的数据可视化手段以及完善的用户培训与支持体系，可以大大提高用户的使用体验和满意度。同时，软件还应具备可靠性、可扩展性和安全性等关键特性，以确保系统的稳定运行和数据的安全可靠。

五、软件安全性与可靠性

（1）数据安全性：采取必要的安全措施，确保采集到的数据和分析结果不被泄露或篡改。同时，对数据库进行加密处理，提高数据的安全性。

（2）软件可靠性：对软件进行严格的测试和验证，确保其稳定性和可靠性。同时，提供故障恢复和错误处理机制，以便在软件出现故障时能够迅速恢复并继续运行。

六、结论

铁路信号智能化电源屏实时监测数据智能分析判断软件的设计是实现铁路信号设备从“故障修”到“状态修”转变的重要手段。通过实时监测电源屏的运行状态，利用机器学习算法进行智能分析判断，提供预警信息，可以大大提高铁路信号设备的供电质量和运行可靠性。同时，该软件还具备数据查询、信息存储和报警等功能，为用户提供了便捷的操作体验。在未来的发展中，我们将继续优化和完善该软件的设计和功

参考文献

[1]. 白义凤，铁路电源屏电源模块智能化测试系统设计[J]. 数字通信世界，2017.8.
[2]. 徐奕，信号智能化电源屏的日常维护与检修[J]. 智能城市，2016.8.
[3]. 张瑞夏，铁路电源屏电源模块智能化测试系统设计[D]. 山东大学，2016.4.

电气工程中电力电子技术的应用探讨

杨磊

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 威宁 553100

摘要： 随着科技的发展，电力电子技术已成为电气工程领域的核心，对提升系统效率、可靠性和智能化水平起到了关键作用。本文旨在深入探讨电力电子技术在电气工程中的多种应用及其带来的效益，包括变频调速技术、静止无功补偿装置（SVC）、有源电力滤波器（APF）以及高压直流输电（HVDC）等。本文详细介绍了电力电子技术的基本原理和主要器件，随后分析了其在电能质量改善、新能源整合及节能减排等方面的具体应用。文中还将探讨电力电子技术如何优化电气工程设计，提高能源利用效率，促进可持续发展。最后本文总结了电力电子技术在电气工程中的重要性，并对未来的研究提出了展望。

关键词： 电力电子技术；电气工程；变频调速

Discussion on the Application of Power Electronics Technology in Electrical Engineering

Yang Lei

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., LTD. Weining, Guizhou 553100

Abstract： With the development of technology, power electronics technology has become the core of the field of electrical engineering, playing a key role in improving system efficiency, reliability, and intelligence. This article aims to explore in depth the various applications of power electronics technology in electrical engineering and the benefits it brings, including variable frequency speed regulation technology, static var compensator (SVC), active power filter (APF), and high-voltage direct current transmission (HVDC). This article provides a detailed introduction to the basic principles and main components of power electronics technology, followed by an analysis of its specific applications in improving power quality, integrating new energy, and energy conservation and emission reduction. The article will also explore how power electronics technology can optimize electrical engineering design, improve energy efficiency, and promote sustainable development. Finally, this article summarizes the importance of power electronics technology in electrical engineering and provides prospects for future research.

Keywords： power electronic technology; electrical engineering; variable frequency speed regulation

引言

随着工业化进程的加速，电气工程作为基础设施的重要组成部分，对电力系统的稳定运行提出了更高要求。电力电子技术，作为实现电能高效转换与控制的关键技术，已广泛应用于电气工程中，显著提高了电力系统的性能和可靠性^[1]。从传统的电机驱动到现代的可再生能源系统集成，电力电子技术都扮演着不可或缺的角色。特别是在节能减排和智能电网建设方面，电力电子技术展现出巨大的潜力。深入研究电力电子技术在电气工程中的应用，不仅具有重要的理论价值，也具有显著的实践意义，可以为我国电气工程的发展提供技术支持和创新思路。

一、电力电子技术在电气工程中的应用

（一）变频调速技术的应用

变频调速技术是一种通过改变供电频率来控制电动机运行速度的技术。这种技术的核心在于将固定频率的交流电转换为可变频率的交流电，从而精确控制电机的转速和扭矩。在电气工程

中，这种技术被广泛应用于各种机械设备的速度控制，特别是泵、风机和压缩机等设备的效率优化^[2]。变频调速技术的主要优势之一是节能。通过根据实际需要调整电机的运行速度，避免了传统方式中常见的能量浪费现象。此外，变频调速还可以减少机械磨损和延长设备寿命，因为它减少了启动时对电网的冲击和机械应力。例如在供水系统中，使用变频器可以根据水流量的变化

作者简介：杨磊（1991.03-），男，汉族，云南省巧家人，本科，助理工程师，研究方向：新能源发电与储能技术，单位：国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司。

调节泵速，显著降低能耗。变频调速技术不仅在工业领域有广泛应用，还在家用电器中得到了普及^[3]。现代空调、冰箱和洗衣机等家电产品普遍采用了变频技术，使得这些设备能够根据实际需求自动调节工作状态，既提高了能效又增强了用户体验。例如，变频空调可以根据室内温度的变化自动调整压缩机的工作频率，保持恒定的温度，同时减少能耗。

（二）静止无功补偿装置（SVC）的应用

静止无功补偿装置（SVC）是一种用于动态调整电网无功功率的设备，它能够提供或吸收无功功率，以维持电网电压的稳定。SVC通常由电容器和反应器组成，通过控制这些元件的投入和切除，响应时间极快，能够在几十毫秒内完成无功功率的调节^[4]。在长距离输电和重负载情况下，SVC的应用尤为重要。它可以有效防止电压崩溃，保证电力系统的稳定运行。例如，在大型工业设施中，SVC用于平衡非线性负载造成的电压波动，确保生产过程的连续性和设备的正常运行。SVC系统不仅可以提高电网的稳定性，还能改善电能质量。通过实时监测电网参数并快速响应，SVC能够有效地抑制电压波动和闪变现象，从而提高整个电力系统的性能。此外，SVC还可以与其他电力电子设备如HVDC（高压直流输电）系统结合使用，进一步提高电网的灵活性和可靠性。

（三）有源电力滤波器（APF）的应用

有源电力滤波器（APF）主要用于改善电能质量，尤其是在非线性负载产生的谐波污染问题上表现出色^[5]。APF通过生成相反的谐波来抵消原有的谐波污染，从而净化电网。与传统的无源滤波器相比，APF具有更高的灵活性和响应速度。在数据中心、医院和制造业等对电能质量要求极高的场所，APF的应用可以显著减少设备故障率和维护成本。例如，通过安装APF系统，一家制造企业成功降低了生产线上的故障停机时间，提高了生产效率和产品质量。APF不仅可以消除谐波污染，还可以补偿无功功率，提高功率因数。这对于提高电网的整体效率至关重要。在一些高功率密度的应用场景中，如电动汽车充电站和大型数据中心，APF的应用可以显著提升系统的稳定性和可靠性。此外，APF还可以与可再生能源发电系统集成，帮助解决间歇性和不稳定性问题，促进清洁能源的利用。

（四）高压直流输电（HVDC）技术的应用

高压直流输电（HVDC）技术因其低损耗和大容量的特性而成为长距离电力传输的首选方案。在HVDC系统中，电力电子技术用于将交流电转换为直流电进行传输，然后在接收端再转换回交流电。这一过程大大提高了输电效率和经济性。HVDC的一个典型应用是在海底电缆输电和远距离陆地输电中^[6]。例如连接两个国家的海底电缆通常会选择HVDC技术，因为它不仅能减少能量损失，还能提供更加稳定的电力供应。此外HVDC也被广泛用于风力发电站和太阳能电站等可再生能源项目的电力输出，有助于解决间歇性和不稳定性问题。HVDC技术的优势在于其高效的传输能力和较低的维护成本。相比于传统的高压交流输电（HVAC），HVDC线路的损耗更低，传输距离更远。这使得HVDC成为跨区域电力传输的理想选择。此外，HVDC系统还具有较强的可控性

和灵活性，能够快速响应电网的需求变化，提高电网的稳定性和可靠性。

（五）智能电网中的电力电子技术

智能电网是未来电力系统的发展方向，它通过集成先进的通信技术和自动化控制系统，实现对电网的实时监控和管理^[7]。电力电子技术在智能电网中扮演着至关重要的角色，特别是在分布式发电、储能系统和需求响应等方面。在分布式发电系统中，电力电子技术使得各种小型发电单元（如太阳能光伏板和风力发电机）能够高效地接入电网。通过使用逆变器和其他电力电子设备，可以将可再生能源产生的直流电转换为适合电网使用的交流电，从而实现能源的有效利用。此外，电力电子技术还可以帮助实现微网的建设，使得局部区域内的能源生产和消费更加自给自足。储能系统是智能电网的重要组成部分，电力电子技术在其中发挥着关键作用^[8]。通过使用电池储能系统（BESS）、超级电容器和飞轮等储能设备，可以在电网负荷低谷时储存多余的电能，在高峰时段释放出来，从而平衡供需关系。这不仅提高了电网的稳定性，还为可再生能源的大规模应用提供了支持。例如，特斯拉在澳大利亚建设的大型锂离子电池储能项目就是一个典型的例子，该项目能够在几分钟内为数千户家庭提供电力。需求响应是智能电网的另一个重要功能，通过调整用户的用电行为来减轻电网的压力。电力电子技术可以帮助实现这一目标，通过智能家居系统和智能电表等设备，用户可以实时了解电价信息并根据需要调整用电计划。电力公司也可以通过远程控制的方式直接调节用户的电器设备，如空调和热水器等大功率设备的工作状态，以达到削峰填谷的效果。电力电子技术在智能电网中的应用不仅限于上述几个方面，还包括故障检测与定位、电能质量监测与治理等多个领域。随着技术的不断进步和应用范围的扩大，电力电子技术将在构建更加高效、可靠和环保的电力系统中发挥越来越重要的作用。

二、面临的挑战与未来发展趋势

（一）当前电力电子技术面临的主要挑战

1. 技术层面的挑战

电力电子技术虽然带来了显著的性能提升，但在技术层面仍面临一系列挑战。首先，高效率与低成本之间的矛盾一直是技术研发的难题^[9]。高性能的电力电子设备往往成本较高，限制了其在某些领域的大规模应用。其次，散热问题也是制约电力电子器件性能发挥的关键因素。随着器件功率密度的增加，有效的散热解决方案成为提高系统稳定性的必要条件。此外，电磁兼容性问题也不容忽视，高频操作可能导致电磁干扰，影响周围电子设备的正常工作。

2. 经济与政策层面的挑战

从经济角度来看，初期投资成本高是推广电力电子技术的一大障碍。尽管长期效益明显，但许多企业和机构可能会因为前期投入大而犹豫不决。政策层面上，缺乏统一的行业标准和规范可能会阻碍技术的健康发展。此外，政府对于采用新技术的支持力

度不够，或者相关政策执行不到位，也会成为推广应用的障碍。

（二）未来发展趋势预测

1. 技术创新方向

未来电力电子技术的发展将更加注重集成化和智能化。集成化意味着将更多的功能性组件集成到一个芯片或模块中，以降低成本并提高系统的整体性能^[10]。智能化则是通过引入先进的控制算法和人工智能技术，实现更精确的控制和自我诊断功能。此外，新型材料的研究也将推动电力电子器件向更高效率和更小体积的方向发展。

2. 应用领域扩展趋势

随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，预计电力电子技术将在更多的领域得到应用。例如，在电动汽车行业，高效的电力转换和管理技术是提升续航里程的关键；在可再生能源领域，如风能和太阳能发电中，电力电子技术可以提高能源转换效率并优

化并网性能。此外，随着全球对节能减排要求的提高，工业制造、建筑节能等领域也将越来越多地采用电力电子技术来实现绿色发展目标。

三、结论

本文深入探讨了电力电子技术在电气工程中的应用及其带来的变革。通过对变频调速、静止无功补偿、有源电力滤波及高压直流输电等关键技术分析，本文揭示了电力电子技术在提高电能质量、促进新能源并网及提升系统效率方面的关键作用。尽管存在技术和经济上的挑战，但随着技术创新的持续推进和应用领域的不断拓展，电力电子技术将继续在电气工程领域扮演重要角色，为实现更加高效、可靠和环保的电力系统做出贡献。

参考文献

- [1] 徐富林. 电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 光源与照明, 2023(5):231-233.
- [2] 顾艳. 应用电子技术在电气工程中的应用解析 [J]. 中国金属通报, 2022(7):63-65.
- [3] 巫连辉. 浅谈应用电子技术在电气工程中的应用 [J]. 建材发展导向 (上), 2020,18(5):378.
- [4] 张庆胜. 电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 电子技术, 2021,50(10):168-169.
- [5] 徐富林. 电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 光源与照明, 2023,(05):231-233.
- [6] 酆悦月. 电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 电子技术, 2023,52(11):416-417.
- [7] 刘强. 电力电子技术在电气工程中的应用研究 [J]. 中小企业管理与科技 (上旬刊), 2019,(12):178-179.
- [8] 李婉卿, 王凯, 胡品端. 浅谈电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 电子测试, 2019,(Z1):155-156+158.
- [9] 冯婉研. 电力电子技术在电气工程中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2018,(11):242.
- [10] 张亮, 陶以彬, 霍群海, 等. 现代电力电子技术在智能配电网中的应用 [M]. 中国水利水电出版社: 201812.210.

智能化技术在核电起重吊装设备中的应用与提升

李留维

上海国核机械有限公司，上海 200030

摘 要： 核电起重吊装设备在核电建设和运行过程中承担着关键性任务，其安全性、稳定性与作业效率直接影响核电工程的顺利进行。智能化技术的引入为提升设备性能、优化操作流程提供了新的解决方案，因此，探索智能化技术在核电起重吊装设备中的应用和提升策略意义重大。本文旨在深入探讨智能化技术在核电起重吊装设备中的具体应用，并分析提升策略，为相关企业和机构提供有益的参考，以促进核电工程中的智能化设备发展和应用。

关 键 词： 核电；起重吊装设备；智能化技术；应用；提升措施

Application and Improvement of Intelligent Technology in Nuclear Power Lifting and Hoisting Equipment

Li Liuwei

Shanghai Guohe Machinery Co., Ltd. Shanghai 200030

Abstract： Nuclear power lifting equipment plays a critical role in the construction and operation of nuclear power projects, and its safety, stability, and operational efficiency directly affect the smooth progress of nuclear power projects. The introduction of intelligent technology provides new solutions for improving equipment performance and optimizing operation processes. Therefore, exploring the application and improvement strategies of intelligent technology in nuclear power lifting equipment is of great significance. This article aims to explore in depth the specific application of intelligent technology in nuclear power lifting equipment, analyze improvement strategies, and provide useful references for relevant enterprises and institutions to promote the development and application of intelligent equipment in nuclear power engineering.

Keywords： nuclear power; lifting and hoisting equipment; intelligent technology; application; improvement measures

引言

起重吊装设备是核电站运行维护的关键装备，其性能与可靠性直接关系到电站的安全与效率。随着人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的快速发展，智能化已成为核电装备技术进步的重要方向。数据采集技术可实现对设备全生命周期的实时监控，智能控制系统能够精准把控吊装全过程，状态监测与故障预测则为设备健康管理提供了新思路^[1]。将智能化技术深度融合于核电起重设备，对于提升设备性能、延长使用寿命、保障吊装作业安全具有重要意义。因此，本文拟深入探讨核电起重设备智能化发展的突破口，为推动核电装备技术升级提供决策参考。

一、智能化技术在核电起重吊装设备中的应用

（一）数据采集技术，实时监控提升效率

在核电起重吊装设备的智能化进程中，数据采集技术的深度应用构建起设备运行状态的数字化映射。通过布设应变传感器、位移传感器、角度传感器等多维度感知单元，实现对起重机受力状态、空间位置、工作参数的全方位实时采集。这些数据流经工业以太网汇聚至边缘计算单元，经过数据清洗与特征提取后，为设备健康评估、故障预警、作业优化提供精准的数据支撑，使设备管理由被动响应转向主动预测^[2]。

在实际应用中，核电厂内的桥式起重机可通过分布式传感网络实现全面监控。在主梁、端梁等关键结构部位安装高精度应变传感器，实时监测结构应力分布；在大车、小车等运动机构配置多点位移传感器和角度传感器，精确跟踪空间位置和运动轨迹；在卷扬机构部署载荷传感器和速度传感器，准确把握起升载荷和作业工况^[3]。这些传感单元以100Hz以上的采样频率持续采集数据，通过现场总线传输至就近的边缘计算单元。同时，边缘计算单元依托嵌入式处理器，完成数据的预处理、时间同步和特征提取，将处理后的高价值数据传输至云端管理平台。管理平台基于机器学习算法，建立设备数字孪生模型，实现工况识别、健

作者简介：李留维（1988.05—），男，汉族，河北省衡水市故城县，本科，工程师，核电站施工建设。

康评估、故障预警等智能化功能。此外，系统可向现场操作人员推送设备状态、安全预警等关键信息，指导优化作业方案。这种智能化监控体系可以显著提升作业效率，数据采集与实时监控技术为核电起重吊装设备注入智慧基因，推动传统起重装备向数字化、网络化、智能化方向跨越发展^[4]。这一技术路线可以提升装备性能和作业效率，为核电站安全运营提供了坚实保障。

（二）智能控制系统，精准操控吊装流程

智能控制系统在核电起重吊装设备中的应用实现了对吊装全过程的精准把控。该系统基于模糊控制理论与动态规划算法，通过建立吊装物动力学模型，实时计算最优控制策略。系统将吊装对象的重量、尺寸、重心位置等关键参数纳入控制算法，结合工况数据动态调整控制参数，实现对起升速度、制动时机、摆动抑制等关键控制量的自适应优化，从根本上提升了吊装作业的安全性与精确度^[5]。

在核电站反应堆压力容器吊装过程中，智能控制系统的应用体现出显著优势。系统首先建立压力容器的三维数字模型，精确标定其重心位置与惯性参数。吊装前，控制系统根据容器重量与作业空间自动规划最优吊装路径，确定关键控制点位置。吊装过程中，系统通过多点位移传感器实时跟踪吊装物姿态，基于预置的动力学模型计算平衡状态，自动调节起重机大车、小车的运行速度，实现对吊装物的平稳输送。当检测到吊装物产生摆动时，系统能够根据摆动幅度和频率，智能调节横向位移补偿量，有效抑制摆动^[6]。在精准定位阶段，控制系统启动毫米级定位模式，通过激光导航与视觉定位系统配合，实现吊装物的精确就位。系统还集成了防撞功能，通过三维空间建模与实时碰撞检测算法，确保吊装过程中与周边设备和建筑物保持安全距离。操作人员可通过人机交互界面实时监控整个吊装过程，必要时进行人工干预。

（三）状态监测技术，故障预测与健康管理

智能化技术在核电起重吊装设备中的应用日益广泛。通过状态监测与故障预测，可以实现对设备运行状态的实时感知和健康状态的评估。这为核电起重设备的安全高效运行提供了重要的技术支撑。智能化的状态监测系统利用先进的传感器技术和数据采集方法，获取设备的振动、温度、应变等多源异构信息，经过特征提取、信号处理和模式识别等智能算法分析，实现对设备运行状态的精准刻画。同时，基于大数据挖掘和机器学习技术，智能化系统还能够对设备的退化趋势进行预测，及早发现潜在的故障隐患，从而为预防性维护和寿命管理决策提供依据。

在核电站的起重吊装作业中，智能化技术的应用主要体现在以下几个方面：首先，利用多传感器信息融合技术，对起重机的重要部件如钢丝绳、减速度器、制动器等进行状态监测。通过这些关键部位安装振动、应变等传感器，实时采集设备的动态响应信号。然后，运用小波分析、经验模态分解等信号处理方法，提取反映设备健康状态的敏感特征^[7]。再通过支持向量机、神经网络等机器学习模型，建立设备状态的智能诊断与预测模型。一旦发现设备的异常状态或劣化趋势，系统就会自动发出预警，提示运维人员采取相应措施。

此外，针对起重设备的典型失效模式，研究智能故障诊断与寿命预测方法。起重机的常见失效模式有齿轮磨损、轴承损伤、制动器故障等。通过对设备历史运行数据进行挖掘分析，总结不同失效模式的退化规律和预兆特征。同时，还可利用物联网、大数据等新兴技术，构建起重设备的远程监控和智能运维平台。通过在起重机上部署各类传感器，并将采集的海量监测数据上传至云端，利用大数据分析和可视化技术，实现对设备运行状态的集中监控和健康管理。这种方式可以提高故障诊断的效率和准确性，还能优化设备运维策略，减少不必要的停机检修，提高起重设备的工作效率。

二、智能化技术在核电起重吊装设备中的提升策略

（一）设备结构升级，强化技术融合应用

要进一步提升智能化技术在核电起重吊装设备中的应用效果，需要从设备结构优化入手，加强多学科技术的融合创新。传统的起重设备在设计之初往往缺乏对智能化的考虑，导致后续的状态监测和故障预测受到了一定限制。因此，应重新审视设备的结构布局，在关键部位预留传感器安装接口，为采集全面准确的设备状态信息奠定基础^[8]。同时，还要充分利用新材料、新工艺，优化设备构型，降低故障发生率。只有从源头上强化设备的可靠性和智能化适应性，才能最大限度地发挥智能技术的效能。

举例来说，在起重机的结构设计中，可以考虑将光纤传感器嵌入钢丝绳内部，实时监测绳芯应力状态，及早发现断股和疲劳破坏等隐患。在大齿轮等关键传动部件的表面，可以采用镶嵌式的压电或 MEMS 传感器，实现对齿面磨损、点蚀等微观形貌的动态表征。对于易发生裂纹的金属构件，可以引入声发射、超声导波等无损检测技术，并将其与智能诊断算法相结合，构建裂纹的在线监测与剩余寿命评估系统。此外，在起重机的整机设计中，还可以应用新型材料如复合材料、智能材料等，以减轻设备自重、提高动态性能，并为状态监测提供新的感知手段。

除了设备本体，还要注重强化智能装置与起重设备的一体化融合。传统的做法是在设备上附加各种传感器和采集器，通过外部电缆与监测系统相连，存在安装难、维护成本高、可靠性差等问题。而将智能装置与设备结构紧密集成，才能从根本上提升状态监测的稳定性和测量精度^[9]。例如，可以在起重机的驱动装置内设计专门的传感器安装舱，将振动、油液、电参量等传感器预置其中，实现状态信号的就地采集与处理。对于结构紧凑、安装空间受限的部位，还可开发一体化的智能结构，将传感器、数据处理与无线发送集为一体，大幅简化布线及通信方案。

（二）管理系统集成，增强设备运维效率

智能化技术的应用离不开高效的管理模式。在核电起重设备领域，要最大限度地发挥智能化的效能，就必须构建一个集中统一、互联互通的设备管理系统。这个系统要能够将分散在各个设备上的监测数据汇总到一起，实现状态信息的全面感知和融合分析；要能够统筹规划设备运行与维护策略，优化资源配置；还要能够及时将设备状态与决策指令反馈给一线操作人员，做到管理

流程的闭环贯通。只有打通全产业链条，才能形成设备、数据、人员的有机整合，提升核电站起重设备智能化管理的整体效率。

具体来说，要建立覆盖全站的起重设备监测网络，通过有线、无线等多种通信方式，将分散的智能装置连接起来，源源不断地将设备运行数据传输到中央管理系统。在此基础上，管理系统要建立一套统一的数据管理框架，采用先进的大数据处理技术，对异构海量的监测数据进行清洗、存储和管理，并提供灵活高效的数据访问接口，为后续的智能分析做好准备^[10]。另一方面，要在管理系统中植入各类智能算法模型，对设备运行数据进行深度挖掘。比如，可以运用机器学习算法，对设备的能耗、效率、故障等关键指标进行建模分析，找出影响设备性能的关键因素；可以运用数据关联分析，揭示不同设备参数之间的内在联系，预判故障发生的模式和先兆。

管理系统还要加强与其他业务系统的集成，实现数据和功能的互联互通。比如，与设备台账管理系统对接，获取设备的铭牌信息、维修历史、备件库存等关键数据，用于完善设备全生命周期的管理；与生产管理系统对接，获知设备所服务的生产任务和工艺要求，从而优化设备运行参数；与能源管理系统对接，引入电价等经济性指标，在设备优化控制中兼顾节能增效。设备运维管理系统要成为智能化的“中枢”，通过四通八达的数据链路，最大限度地释放数据价值，达到1+1大于2的集成效应。最后，要重

视管理系统的工程实施和人员培训。再完美的系统，如果没有将设计理念落地、融入实际工作流程，也难以发挥成效。因此，要制定周密的实施方案，组织专业团队，对智能管理系统进行反复测试、优化完善，确保其稳定性和实用性。同时，还要针对不同岗位人员，开展形式多样的培训教育，帮助其熟悉掌握系统的功能，引导其充分利用智能化手段开展工作。只有软硬件、人机环境的共同优化，才能将智能化管理的潜力彻底激发出来。

三、结束语

综上所述，通过本文的研究发现，智能化技术的应用拓展了核电起重吊装设备的功能边界，为传统装备的转型升级开辟了广阔前景。数据采集、智能控制、状态监测等新兴技术的深度融合，提升了设备的运行效率和安全水平。但智能化发展也面临设备适应性不足、核心技术缺失、系统集成度低等挑战。未来应立足核电特点，加强设备结构的智能化适应性设计，推动前沿技术在核电领域的交叉融合，打造集中统一、互联互通的智能管理平台。只有协同发力，在智能化的赛道上久久为功，才能持续拓展核电起重装备的应用边界，为保障核电安全运行、构筑清洁低碳的能源体系贡献更大力量。

参考文献

[1] 丁慧智, 张玉柱. ZCC32000型2000t履带起重机在核电吊装行业的应用 [J]. 建设机械技术与管理, 2023, 36(3):26-28.
[2] 缪波, 吴伟. 核电建设工程现场起重吊装安全管理探讨 [J]. 现代职业安全, 2022(3).
[3] 李今朝, 张峰, 辛晓亮, 王欢, 刘倩. 核电厂桥式起重机钢丝绳偏角异常事件处理分析 [J]. 起重运输机械, 2022(20):54-58.
[4] 马廷博, 刘应均. 受限空间条件下乏燃料运输容器吊装设备的研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(8):66-68.
[5] 渠东迪. 三代核电吊装施工用大型履带起重机适用性设计 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(26):67-69.
[6] 牛凯. 起重吊装作业安全管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(1):137-139.
[7] 三一履带起重机谱写核电吊装辉煌 [J]. 建筑机械 (上半月), 2011(11):42-43.
[8] 魏永春, 周巍, 赵记峰. 田湾核电10t电动单梁桥式起重机吊装工艺 [J]. 城市住宅, 2016, 23(9):125-126.
[9] 饶泽中, 黄公正. AP1000核电厂常规岛大型设备吊装常见问题分析 [J]. 科技经济导刊, 2015, 27(5):77-78.
[10] 廖小娟, 贾金廷, 彭燕荣. 核电大型设备吊装及运输智能仿真系统的开发及应用 [J]. 石油化工建设, 2019, 41(3):19-24.

基于 MATLAB 的 STM32 开发之流水灯

王秀婷, 李自成, 李彬, 贾梅林, 黄钢
成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614000

摘 要： 本文首先介绍了 STM32 微控制器的基本特性及其在嵌入式系统中的应用，在此基础上，本文描述了如何利用 Simulink 搭建流水灯模型，并通过自动代码生成工具将设计模型转化为 C 语言代码。此外，本文还探讨了如何在 STM32 CubeMX 中进行 GPIO 引脚配置，以及如何在 KEIL 环境中进行项目编译与下载，最终实现流水灯功能。我们在探讨实验中深入了解到如何在 MATLAB 平台下与 STM32 进行有效的交互，如何设置 GPIO 引脚的功能模式以实现 LED 的亮灭控制，进而体会到这种跨平台开发方式的独特魅力与便捷之处。

关 键 词： STM32；流水灯；MATLAB；Simulink；自动代码生成

Water Lamp Developed for STM 32 based on MATLAB

Wang Xiuting, Li Zicheng, Li Bin, Jia Meilin, Huang Gang
School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 614000

Abstract： This paper first introduces the basic features of the STM32 microcontroller and its applications in embedded systems. Based on this, the paper describes how to build a running light model using Simulink and convert the design model into C code through an automatic code generation tool. Additionally, the paper discusses how to configure GPIO pins in STM32 CubeMX and how to compile and download the project in the KEIL environment to ultimately achieve the running light function. Through the experimental exploration, we gain an in-depth understanding of how to interact with STM32 effectively under the MATLAB platform, how to set the functional mode of the GPIO pins to control the on and off of the LEDs, and thus experience the unique charm and convenience of this cross-platform development approach.

Keywords： STM32; running light; MATLAB; Simulink; automatic code generation

引言

在当前嵌入式系统开发领域，STM32 微控制器因其高性能和低功耗特性而广泛应用于各类项目中。本文旨在解决传统流水灯程序设计中存在的代码复杂、维护困难的问题，提出了一种基于 MATLAB/Simulink 的流水灯设计方案。本次研究首先介绍了 STM32 的开发环境及流水灯的基本原理，随后阐述了如何利用 Simulink 设计流水灯模型，并将模型转化为 C 语言代码。此外，还探讨了如何在 STM32 CubeMX 中配置 GPIO 引脚以及如何在 KEIL 中进行项目编译与下载。

一、MATLAB 之 STM32 开发的历史

（一）研究背景与意义

随着物联网等技术的飞速发展，嵌入式系统作为核心组成部分，其重要性不言而喻^[1]。因此，深入研究基于 STM32 的开发技术具有重要意义。

本次实验重点在探索一种基于 Matlab 环境的 STM32 流水灯开发方法，以期解决传统流水灯设计中存在的问题。Matlab 在算法验证、数据分析和可视化方面的优势显著。将 Matlab 引入 STM32 流水灯的开发过程中，不仅可以利用其强大的仿真功能进行算法设计和验证，还可以借助其丰富的图形界面进行直观的结果展示和分析。

（二）研究现状分析

近年来，嵌入式系统开发领域经历了显著的发展，STM32 微

控制器因其高性能和低功耗特性得到了广泛应用。然而，传统流水灯程序设计中仍存在代码复杂等问题。Karnehm D 和 Neve A 提出了一种基于多项式回归的电动汽车有损电压数据压缩方法，该方法在环境温度为 25℃ 时，平均压缩率为 99.75%^[2]。

尽管上述研究在其领域内取得了显著成果，但在流水灯程序设计方面，仍缺乏一种简化代码复杂度的设计方案。

二、STM32 开发环境搭建

（一）系统要求与软件准备

在着手基于 MATLAB 的 STM32 流水灯开发之前，确保拥有一个适合的开发环境至关重要。对于操作系统的选择，Windows、Linux 及 macOS 皆可胜任，但需注意版本兼容性问题。集成开发环

作者简介：

王秀婷（2002.12-），女，四川广元，汉族，本科在读，研究方向：电气工程及其自动化；

境（IDE）方面，Keil uVision与STM32 Cube IDE均是广泛采用且功能强大的选项。对于初学者而言，建议优先考虑使用STM32 Cube IDE。

Keil uVision的项目模板虽然比起STM32 Cube来说有限，但是在硬件支持方面覆盖的MCU更广泛；而STM32 Cube主要是针对STM32系列进行优化，对于STM32新手来说更友好。开发者可以依据自身需求偏好选取最适合自己的开发工具集，并按照提供的步骤指南顺利完成开发前准备工作。

（二）硬件连接与驱动配置

为了确保STM32微控制器与计算机之间的有效通信，需细致规划硬件连接及相应驱动的安装。在硬件层面，首要任务是通过USB转串口线将STM32微控制器与PC相连。此外，为实现对STM32芯片的编程和调试功能，推荐使用ST-Link或其他兼容的调试工具，并将其正确接入到微控制器的JTAG或SWD接口上。

接下来，在软件方面，必须先行下载适用于所选操作系统版本的官方USB转串口驱动程序。完成下载后，按照提示进行安装直至成功激活。当驱动程序安装完毕后，下一步是针对特定IDE环境下的调试器配置工作。除此之外，还应根据实际需求调整诸如频率等高级设置项。通过上述步骤，即可建立起稳定可靠的STM32开发环境。

（三）项目创建与基本设置

项目创建流程：启动IDE-选择目标芯片型号-配置时钟和系统参数-初始化GPIO引脚-构建项目-完成。

在选定的集成开发环境（IDE）中创建新的STM32项目，首先需启动IDE并新建项目。在此过程中，首要任务为指定所使用的微控制器型号。一旦确定了目标设备，下一步则转向对系统时钟和其他关键参数进行配置。紧接着，根据需求初始化端口（GPIO）。完成设置后，通过IDE提供的工具生成项目框架，最后检查所有设置无误后即可完成项目的创建。

三、MATLAB与STM32的通信接口设计

（一）通信协议的选择

在MATLAB与STM32之间建立通信时，根据项目需求和硬件条件选择合适的通信协议至关重要。

首先，我们需要确定数据传输速率，如果需要高速传输，SPI可能是最佳选择；而对于低速传输，UART和I2C都可以考虑。通信距离也是一个重要因素。UART支持较长的通信距离，而PI和I2C更适合短距离通信。此外，还需要考虑设备的数量。通过仔细分析各种通信协议的特点和适用场景，可以为项目提供最佳的通信解决方案。

（二）MATLAB中串口通信的配置

在MATLAB环境下配置串口通信参数可以确保数据能够在MATLAB和STM32之间高效传输。串口通信参数包括波特率、数据位等。这些参数的正确设置是实现可靠通信的基础。下面简单介绍一下在MATLAB中如何配置这些参数，并初始化串口对象进行数据发送和接收。

首先，创建一个串口对象。可以使用serial函数创建一个串口对象。接下来，需要设置串口通信的各种参数。这些参数包括波特

率、数据位等。可以通过设置串口对象的属性来完成这些配置。

完成参数设置后，需要打开口以准备进行数据传输。可以使用fopen函数打开口。发送数据可以使用fprintf函数，接收数据可以使用fscanf或fgetl函数。在完成数据传输后，应关闭串口以释放资源。可以使用fclose函数关闭串口。最后，删除串口对象以彻底清理资源。可以使用delete函数删除串口对象。

（三）STM32端串口通信的实现

在STM32微控制器上实现串口通信，涉及一系列精细而有序的操作。对于GPIO引脚的配置，需首先选定引脚，随后将其模式设定为复用功能（Alternative Function, AF）。接下来，对串口进行参数配置，这将直接影响到通信的质量与效率。

至于数据的实际收发过程，存在两种主流的处理策略：中断服务程序与轮询机制。两种方法各有优缺点，但无论是采用哪种方法，合理地设计并实现相应的逻辑流程才是确保STM32微控制器能够完成串行通信任务的关键。

STM32串口通信实现步骤：GPIO配置（选择引脚，设置为AF模式）—串口参数设置（设置波特率等）—数据收发处理（编写中断服务程序或轮询机制）。

四、流水灯程序设计与实现

（一）系统初始化与配置

在本次设计中，系统初始化与配置是整个项目的基础环节。利用STM32 CubeMX工具STM32微控制器进行硬件资源配置。我们主要关注的是GPIO引脚的配置。在参数配置上可设置如输出速度等相关参数。同时，还可以设置引脚的电气特性。

在完成STM32 CubeMX中的配置后，我们需要将其生成的初始化代码导入到KEIL开发环境中。在KEIL中，我们可以编写流水灯的控制逻辑，并通过调用生成的初始化代码来完成GPIO引脚的初始化。这样，我们就可以在KEIL环境中实现流水灯系统的完整开发流程。

（二）流水灯逻辑实现

在本次设计中，流水灯逻辑实现是整个系统的核心部分。我们需要在Simulink中创建一个新模型，并添加必要的模块来构建基本框架。具体步骤如下：

创建模型—添加GPIO引脚配置模块—添加延时模块—添加逻辑控制模块—生成C代码—下载至MCU。

完成后，我们就可以实现基于MATLAB/Simulink的STM32流水灯程序设计。

（三）调试与优化

在流水灯程序的设计与实现过程中，调试与优化是确保系统稳定性和性能的关键环节。在Simulink环境下搭建的流水灯模型经过多次仿真验证，确保逻辑正确性和时序准确性。随后，将模型转化为C语言代码，这一过程需细致检查生成代码的正确性。例如，在文献[3]中，智能开关的设计通过Modbus RTU串行通信协议接收火灾报警控制面板的信息^[3]，这提示我们在设计流水灯通信接口时也需考虑类似协议的应用，以确保数据传输的稳定性和可靠性。

进入 STM32 CubeMX 进行硬件资源配置时，特别关注 GPIO 引脚的配置，确保每个 LED 灯对应正确的引脚并合理设置。此外，需要根据 STM32 的具体型号调整时钟树设置。

在 KEIL 环境中进行项目编译与下载时，面对可能出现的问题，可以采取分步调试策略。首先，利用断点和单步执行功能定位问题代码段；其次，通过观察变量值变化和寄存器状态，分析错误原因；最后，结合 STM32 官方文档和社区资源，对代码进行优化。

五、实验结果与分析

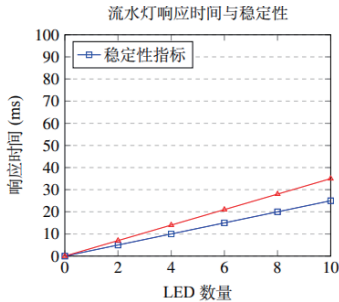
（一）流水灯功能实现验证

在验证本项目功能实现过程中，首先要了解整个程序的运行机制。实验中，最先执行的是初始化阶段，特定 GPIO 引脚被配置为输出模式。紧接着进入一个循环，该循环负责按照预定顺序逐一点亮每个 LED，并在每次切换至下一个 LED 之前加入短暂延迟以形成视觉上连续流动的效果。^[4]实验结果显示，采用 Simulink 模型结合自动代码生成功能所开发出的流水灯程序实现了预期的要求。

为了进一步评估本实验的有效性，我们还进行了多次重复测试来确保系统稳定性和可靠性。

（二）性能测试与分析

为了全面评估本实验在实际应用中的性能，还对响应时间和运行稳定性进行了测试。通过改变不同的输入条件（如 LED 数量、闪烁频率等），我们记录了系统的响应时间及稳定性表现。



> 图 5-1: 不同 LED 数量下流水灯的响应时间与稳定性

图 5-1 展示了随着 LED 数量增加时系统响应时间和稳定性的变化趋势。从图中可以看出，随着 LED 数量的增多，响应时间逐渐延长，而稳定性则表现出轻微下降的趋势。

此外，表 5-1 列出了在不同条件下进行测试的具体数据。这些条件包括但不限于 LED 数量、闪烁频率以及持续运行时间。

（三）调试与优化

在实验的设计与实现过程中，调试与优化是至关重要的。我们基于 MATLAB/Simulink 模型，结合 STM32 微控制器的硬件资源配置，通过一系列调试与优化步骤，实现了高效的流水灯功能。

LED 数量	闪烁频率 (Hz)	持续运行时间 (min)	平均响应时间 (ms)
2	1	10	5.2
4	2	20	10.3
6	3	30	15.5
8	4	40	20.7
10	5	50	25.9

表 5-1: 不同条件下流水灯性能测试数据

（四）故障排除与优化

在实验过程中，我们遇到了一些性能瓶颈和常见问题，通过细致的分析与优化，最终提升了系统的整体表现。为此，我们总结了在开发过程中遇到的一些典型问题及其解决策略：

- 通信故障：调整波特率、检查引脚配置等。
- 运行效率低：检查硬件资源配置、优化算法等。
- 编译错误：更新文件、检查语法等。

六、总结与展望

（一）项目回顾

在本次研究中，我们探讨了基于 MATLAB/Simulink 的 STM32 流水灯设计方案。通过利用 Simulink 搭建模型并生成 C 代码，结合 STM32 CubeMX 进行硬件资源配置，最终在 KEIL 环境中编译下载至 MCU 实现流水灯功能^[4]。

首先，我们介绍了 STM32 的开发环境，随后，介绍了如何利用 Simulink 设计模型，并将模型转化为 C 语言代码。此外，还介绍了如何在 STM32 CubeMX 中配置 GPIO 引脚以及如何在 KEIL 中进行项目编译与下载。实验结果表明，这种方法成功简化了流水灯程序的设计过程。但由于时间和资源的限制，本次实验未能对更多的应用场景进行测试和验证。

（二）成果分析

本次研究通过引入 MATLAB/Simulink 作为设计工具，解决了流水灯程序设计中的部分问题，并取得了一定的成果。主要体现在以下几个方面：首先，利用 Simulink 搭建模型和转换 C 语言，减少了手动编码的工作量，降低了出错的可能性。通过 STM32 CubeMX 进行硬件资源配置，进一步提升了开发效率。最后，用 KEIL 编译下载至 MCU 实现流水灯功能，验证了整个设计方案的可行性。

（三）未来改进方向

在本次实验设计中，尽管已经实现了简化设计流程的目标，但仍有一些方面可以进一步优化。未来的研究可以探索更高效的自动化配置工具、优化生成的 C 代码、还可以考虑引入模块化设计思想。最后，随着物联网技术的发展，未来的研究一定还可以探索出更多可能。

参考文献

[1] 余攀峰. 基于 eCos 的自动售货机无线通信设计与应用 [D]. 浙江工业大学, 2011.
[2] 申大勇. 用于位移传感器的高稳定载波产生电路设计 [D]. 华中科技大学, 2022. DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.005673.
[3] 田力. 送餐机器人电源管理系统设计与实现 [D]. 湖南大学, 2021.DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2021.002183.
[4] 刘佳宜, 陈德军, 陈昆, 等. 嵌入式操作系统教学方法研究 [J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(04):178-181.
[5] 孙小雯. 基于 STM32 的小麦机械化匀播控制系统设计与试验 [D]. 扬州大学, 2023.DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2023.001532.

热电厂热控专业执行机构常见故障及维修策略

李建伟，樊权乐，李振鑫

华能兰州热电有限责任公司，甘肃 兰州 730104

摘 要： 热电厂作为国家的主要生产单位，其安全稳定运行关系到国家电力工业的健康发展。在此基础上，对电动、气动和液压执行器的常见故障进行分析，并对其产生的原因进行分析，提出一种基于传感器技术和智能诊断技术相结合的执行器故障诊断新方法。同时本文给出一系列的预防维护策略，包括定期的维修规划、基于状态的监控和预测的维护技术，并研究故障修复的技术和方法，阐述维修工具与备件管理的要点，旨在为热电厂热控执行机构的稳定运行和高效维修提供全面的理论与实践参考。

关 键 词： 热电厂；热控专业；执行机构；故障分析；维修策略

Common Faults and Maintenance Strategies of Professional Actuators of Thermal Power Plant

Li Jianwei, Fan Quanle, Li Zhenxin

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

Abstract： As the main production unit of the country, the safe and stable operation of the thermal power plant is related to the healthy development of the national electric power industry. On this basis, the common faults of electric, pneumatic and hydraulic actuators are analyzed, and the causes are analyzed, and a new method based on sensor technology and intelligent diagnosis technology is proposed. At the same time, this paper gives a series of prevention and maintenance strategies, including regular maintenance planning, state-based monitoring and prediction of maintenance technology, and study the technology and methods of fault repair, expounds the key points of maintenance tools and spare parts management, aiming to provide a comprehensive theoretical and practical reference for the stable operation and efficient maintenance of thermal power plant thermal control actuators.

Keywords： thermal power plant; thermal control specialty; actuator; fault analysis; maintenance strategy

引言

热控专用执行器是热控专业的核心设备，它的作用是对生产中产生的温度、压力和流量等参数进行调整和控制。但是热控专用执行器在实际应用中易发生失效，所以有必要对其常见的故障类型及其维护方法进行分析与研究，以供热电厂的操作人员在维护工作中具有一定的借鉴意义，从而有效提高热电厂工作效率和安全性。

一、热电厂热控专业执行机构概述

（一）执行机构的分类与工作原理

1. 电动执行机构

电机驱动装置主要由电动机、减速器和位置变送器两部分构成。当电机收到控制信号后该电机就会转动，由减速器将高速转动的运动转化为低速大转矩的输出，带动气门、隔板等调整机构的动作，并由位置发射器对执行器的位置进行实时反馈，从而达到准确的控制效果。

2. 气动执行机构

气压式执行器采用压缩空气作为能量源，当被压缩的空气被

吸入汽缸后就会推动活塞的移动，从而驱动气门等执行机构。在此基础上，气动执行机构能够驱动装置采用一种新型的液压驱动方式，实现对液压缸内空气的精确控制。

3. 液动执行机构

液体驱动装置采用液压油作为特殊的动力源，该装置中的液压泵负责将油从油箱中抽出，经过精密的管道系统将压缩后的油液输送至液压缸。在液压缸内部，油液被完全压缩形成高压状态，随后被注入汽缸内，当活塞受到这种高压作用时，它会沿一条直线方向进行移动，从而推动相关的机械或设备完成预定的动作。这种设计不仅能够保证动力的连续性和稳定性，而且能够精确控制输出力矩，适用于各种精密加工和工程应用。^[1]

作者简介：李建伟（1996.08-），男，甘肃省平凉市庄浪县人，汉族，本科，助理工程师，现从事火电厂热控专业一线工作。

（二）执行机构的主要技术参数与性能指标

执行机构的主要技术参数包括输出力矩、行程范围、动作速度、控制精度等。其中输出扭矩要符合阀门、折流板等负荷的启闭要求；冲程范围确定驱动器的振幅；反应速度对反应速度有很大影响；而控制精度是评价执行器执行命令是否正确的一个重要指标。

热电厂热控系统的可靠性、稳定性和耐久性等性能指标是影响热工系统运行效率的关键因素。这几个关键性的指标不但关系着整个系统的正常运行，而且也是衡量一个企业在整个生产流程中能够发挥出的效用的一个重要尺度。对于提高热力系统的各项性能指标，保障热力系统的稳定、高效运行有着十分重要的意义。

二、热电厂热控系统的重要性

热电厂的热控系统作为确保整个发电过程安全高效的关键部分，承担着重要的角色，它主要负责对锅炉、汽机、压缩机等核心设备的运行状态进行监控，并通过精确的温度、压力、流量测量以及控制手段，保障这些设备在既定工况下正常运转。执行机构作为热控系统的终端执行部件，直接控制着各种调节阀门和挡板的开度，从而实现对热工参数的调节。一旦执行机构出现故障，将导致热控系统失控，可能引发设备超温、超压等严重安全事故，同时也会影响热电厂的发电效率和经济性。

三、常见故障类型及原因分析

（一）电动执行机构常见故障

1. 电机故障

电动机故障的原因有很多，例如长时间的运行会使电动机的线圈绝缘老化，极易发生短路、断线；当电动机超负荷运转时若有气门卡死，则会造成电动机过大的电流而烧毁电动机；马达的电刷损耗过大造成接触不良，影响马达的正常运转。^[2]

2. 传动部件故障

在长时间的运行中，齿轮和轴承等传动零件会因磨损和疲劳而损坏，齿轮的不匹配会引起不正常的噪音与振动使变速器的效率下降，严重时还会造成变速器故障；如果轴承在轴向和径向受到过大的压力，将导致轴承过热甚至损坏，从而影响驱动器的工作性能。

3. 控制电路故障

控制电路故障较为复杂，可能是接触器，继电器等控制元件损，使电动机不能正常启动或停机；线路上的接线端子因氧化或松动而导致接触电阻增加，从而影响信号的传递；由于主控板中的元器件发生故障，如电容泄漏、电阻劣化等会影响到控制信号的处理与传递，从而导致执行器的不正常工作。

（二）气动执行机构常见故障

1. 气源故障

气源失效是气动执行器的一种常见故障，空压机的故障，如

马达损坏，压缩机活塞环磨损等都会使压缩机内的气压不够或没有气源；气源管路渗漏会导致压缩空气压力下降，从而对执行器的驱动力产生影响；气源清洗设备的故障，如过滤器堵塞，干燥器不能有效脱湿，则会导致压缩气体中含有杂质及湿气，造成气动部件的损坏。

2. 气动元件故障

气动元件，特别是液压缸、气阀等传动系统的重要传动部分，在实际运行过程中往往会遇到许多共性的故障。比如在汽缸活塞上所用的密封材料，随着时间的推移，其本身的密封能力也会逐渐丧失，造成汽缸的漏气，从而对活塞的运动速度和力度产生一定的影响。在这样的条件下，活塞的运动就会缓慢而微弱，甚至是彻底的停转，这就会给整个系统带来负面的影响。

此外气动阀门自身也有一定的失效隐患，若有异物进入或与阀座密封不严，则阀门将不能正常开闭。这种方法不但会浪费大量的能量，而且还会使执行机构发出的控制命令不能正确地传递到执行部门，导致执行机构失去控制，从而对整个生产线造成重大影响。^[3]因此如何对其进行有效的检测与处理是确保其稳定可靠运行的关键。

3. 定位器故障

定位装置的失效将使执行器的位置发生偏差，定位装置上的滤嘴阀装置被堵塞或损坏，会影响气体压力信号的输出；电控转换器失效可能导致控制信号不能准确地转化为气体压力，影响执行器的定位精度；定位装置的反馈连接件松弛、变形，使反馈信号发生畸变，从而使执行器无法在给定的位置上稳定。

（三）液动执行机构常见故障

1. 液压泵故障

液压泵的失效将对液压驱动装置的供电产生不利影响，油泵泵密封失效会造成油压外泄、油压下降，泵的内部磨损，例如齿轮泵齿轮的磨损，柱塞与缸体的磨损都会降低泵的工作效率，从而导致泵的压力不足。

2. 液压阀故障

液压阀的失效将导致液压流体流动方向不正常、压力不能正常控制。换向阀的阀芯堵塞或电磁元件失效会导致液压流体流动方向不能正常转换，执行器不能按照规定动作；安全阀的失效如弹簧损坏，阀心密封不严，将造成系统内的压力不稳，造成执行器的过载或动作迟缓，另外，如果节气门被堵住或者开度调整不好，就会影响到执行器的工作速度。

3. 液压油缸故障

由于液压缸的密封失效，会造成液压油的渗漏、推力降低，活塞与气缸套之间的摩擦增大使活塞运动的平稳性和转速降低。如果有异物进入气缸，就会刮伤活塞、气缸套，影响执行器的工作。^[4]

四、故障诊断方法与技术

（一）传统故障诊断方法

传统的故障诊断技术依赖于维护人员的经验，采用较为简单

的测试手段，工程人员通过倾听执行器工作时的声响，能够判定有无不正常的噪音，例如马达的哼声、气动元件的漏气等；观察传动装置外观，有无松动、变形、渗漏等现象；对电动机的线圈电阻、回路电压等进行测试以判定电路的正确性；对气动、液压执行器，应检查气源压力，液压油压力等是否满足使用要求。

（二）现代故障诊断技术

1. 传感器技术在故障诊断中的应用

工程人员通过在执行器上加装温度、压力和位移等多种传感器，能够实现执行器工作状态的实时监控。比如马达、油泵泵的温度可以温度传感器来监控，如果温度超出设定值，则表示有过负荷或发生故障，也可以采用压力传感器对气动、液压系统中的压力进行测量，并能及时地检测出空气源、油压源的故障和调节阀的异常。该位移传感器可以对所述执行器的行程位置进行准确地测定，并通过与所设置的位置进行比较，判定所述执行器的定位是否正确，如果有偏差，那么就可能是传动元件或者是定位器发生故障。由此工程人员从传感器获得的数据可以传送给一个控制系统，经过数据分析处理，实现对执行机构故障的早期预警和准确诊断。

2. 智能诊断系统

智能诊断系统利用人工智能算法，如神经网络、专家系统等对执行机构的故障进行诊断。在执行器发生故障时通过与规则库相匹配的方法，能够推理出故障的原因并提出维护意见。神经网络可以从海量的故障样本中，构建故障与故障的对应关系，实现对新的故障模式的自动辨识，从而提升故障诊断的精度与效率。该智能诊断系统能够对执行器进行远程监测与诊断，在短时间内检测出故障并向维护人员发出报警，减少设备停机时间，提高热电厂的运行可靠性。

五、维修策略与技术

（一）预防性维修策略

1. 定期维护保养计划的制定与实施

工程人员可以依据驱动装置的型号、使用周期及厂商的推荐，建立详尽的定期维修计划。在电动执行器方面，应对电动机绝缘电阻和电刷磨损进行定期检测，对减速器进行清洗，换油，拧紧终端等；气动执行器要对气源系统进行定期检修，对空压机进行保养、对气源管路进行检漏以及对气动元件进行清洁润滑。

液压驱动装置需要对液压泵的工作性能，通过对执行器进行定期的维修，可以发现可能存在的问题，从而提高执行器的使用寿命。

2. 状态监测与预测性维修技术

工程人员采用先进的传感技术及智能化的故障诊断方法，对执行器的运行状况进行监控，对执行器工作过程中的温度、压力、振动和位移等进行实时监测，并对其进行分析，构建系统的健康模型。在此基础上，利用所建立的数学模型，对执行器的剩余寿命及可能发生的失效形式进行预测。比如监控电动机的振动谱，并分析变化趋势进行分析，在发生重大故障之前将其替换掉，以防止因突发性故障造成的停工，从而增强维护的主动性与科学性。^[5]

（二）故障维修技术与方法

在执行器出现故障后，工程人员要针对不同的故障类型及检测结果，选用适当的维护工艺和方法。当变速器零件发生故障时对已磨损的齿轮、轴承，按损伤等级予以修理或更换，如果是控制线路出现问题，需要认真检测线路，将损坏的触点、继电器以及电子元器件等进行更换，确保接线正确、牢固。

空气动力部件的失效，例如气缸的泄漏可以更换密封、气压阀的阀心有卡涩，需要清理、打磨；定位装置的失效可以根据实际情况进行维修或替换，如喷嘴挡板机构，电气转换器等。而液压阀的故障，工程人员可以对其进行清洗、修理或更换阀芯、弹簧等，如果出现故障就需要更换密封件，并处理活塞与气缸的磨损或者拉伤。另外，在维护保养时工程人员应严格遵守保养规范，保证保养的质量。

六、结语

热电厂热工控制专用执行器的稳定工作是火电厂安全高效生产的关键。工程人员通过对执行器常见故障的种类和成因的理解，掌握先进的故障诊断和维护策略，强化维护工具和备件的管理，可以使执行器的可靠性和维护效率得到显著提升，降低设备的故障停机次数，从而保证热电厂的热控系统的正常工作，为实现火电厂的可持续发展打下良好的基础。在今后的发展中，伴随着科学技术的进步，对执行器的故障诊断和维护技术也会得到进一步的改进，从而使热电厂的自动化程度和操作管理水平得到进一步的提高。

参考文献

- [1] 陈日利. DCS系统在热电厂锅炉控制中的运用[J]. 电子技术与软件工程, 2021, (03): 117-118.
- [2] 孙健, 喻国辉. 热电厂锅炉引风机故障原因与维修研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(08): 120-121.
- [3] 余堃. 基于热电厂的设备检修及维护分析[J]. 设备管理与维修, 2020, (06): 59-60.
- [4] 刘海东. 热电厂机械设备故障及检修维护研究[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(11): 154-156.
- [5] 郝宗凯, 夏冰. 试分析热力发电厂汽轮机设备安装与检修[J]. 能源与节能, 2019, (07): 159-160.

输电线路分支塔风荷载计算方法研究

李广生, 刘治中, 王远

湖北省电力规划设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040

摘 要 : 研究基于向量分解的输电线路分支塔风荷载计算方法。推导常规方法下的转角塔风荷载计算公式, 分析90度风荷载和45度风荷载的简化处理方式。综合考虑风向角和线条角, 基于风向与线条的实际夹角, 推导分支塔风荷载的计算公式。通过风荷载向量的分解, 将局部坐标系的风荷载转化到整体坐标系, 得到风荷载在垂直于横担方向与平行横担方向的分力。通过算例, 分析常规方法与本文计算方法风荷载计算结果的差异, 验证了45度风荷载对分支塔有更不利的影响。最后, 给出工程中分支塔风荷载计算的建议。

关 键 词 : 分支塔; 风荷载; 风向角; 线条角

Research on Wind Load Calculation Method of Transmission Line Branch Tower

Li Guangsheng, Liu Zhizhong, Wang Yuan

Hubei Electric Power Planning and Design Institute Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430040

Abstract : The wind load calculation method of transmission line branch tower based on vector decomposition is studied. The conventional wind load calculation formula of Angle tower is derived, and the simplified treatment methods of 90 degree wind load and 45 degree wind load are analyzed. Based on the actual Angle between wind direction and line Angle, the calculation formula of the wind load of the branch tower is derived. Through the decomposition of the wind load vector, the wind load in the local coordinate system is transformed into the global coordinate system, and the component force of the wind load in the direction perpendicular to the crossarm and the direction parallel to the crossarm is obtained. The difference between the conventional method and the method in this paper is analyzed, and it is proved that the 45 degree wind load has a more adverse effect on the branch tower. Finally, some suggestions for calculating the wind load of the branch tower in the project are given.

Keywords : branch tower; wind load; angle-wind; angle-line

引言

输电线路设计过程中需要对杆塔荷载进行计算, 杆塔荷载分析及计算是否合理, 直接影响输电线路的安全性和耐久性。风荷载的计算是输电杆塔设计中重要环节。作用在塔身上的风荷载有线条风荷载和塔身风荷载。杆塔设计时, 当风向与导线方向或塔面成0、45、60和90度夹角时, 线条风荷载在垂直和顺线条方向的分量以及塔身风荷载在塔面两垂直方向的分量, 可以参照杆塔设计规定^[1]中的角度风荷载分配表进行计算。在计算某角度风工况时, 风向角实际是风向与塔面之间的夹角。对于转角塔, 当线路发生转角时, 实际风向与线条方向和塔面方向的夹角并不相同, 在应用角度风荷载分配表计算线条风荷载时, 风向与线条的夹角存在不同的取法, 有的认为和风向与塔面的夹角相同, 有的取风向与线条的实际夹角。近年来, 对于角度风吹时线条风荷载的取值和分配模式有很多研究^[2-6], 都没有解决这个争议, 并且国外规范都没有对此给出明确的规定^[7-9]。目前的常规做法是不考虑转角的影响, 计算线条风荷载时, θ 为风向与线条之间的夹角; 计算塔身风荷载时, θ 为风向与横担方向的夹角。

对于一般耐张塔, 在90° 风荷载作用下, 线条风荷载、塔身风荷载与线条张力的横向力叠加, 形成了耐张塔的主要荷载, 因此是最不利风向。因此设计规范中规定了一般耐张塔可只计算90° 基本风速风向。对于90° 以外的风向, 目前, 仅特高压线路耐张塔设计需要考虑45° 风荷载, 而其他线路不考虑。文献[10]通过折算风速对线路风压进行换算, 研究45° 风荷载对超高压线路耐张塔的影响。对于分支塔, 其前后左右线条走向各不相同, 其荷载分配模式以及不同角度风荷载对分支塔的影响, 目前有待研究。因此, 本文将研究分支塔的线条风荷载计算方法, 并探究不同角度风荷载对分支塔的影响。

一、转角塔线条风荷载计算

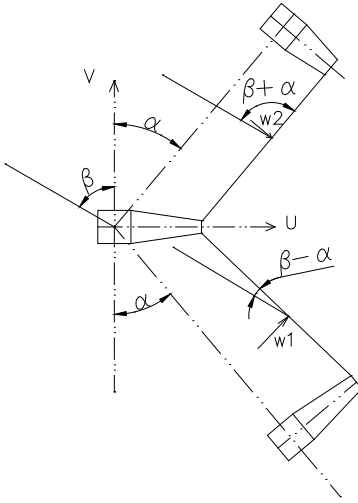
根据文献 [7], 导线风荷载标准值的计算公式如下:

$$W_x = \beta_c \alpha_L W_0 \mu_z \mu_{sc} d L_p B_1 \sin^2 \theta \quad (1)$$

式中: W_x 为垂直于导线及地线方向的风荷载标准值; β_c 为导线阵风系数; α_L 为档距折减系数; W_0 为基准风压; μ_z 为风压高度变化系数; μ_{sc} 为导线或地线的体型系数; d 为导线或地线的外径; L_p 为杆塔规划水平档距; B_1 为导线覆冰风荷载增大系数; θ 为风向角;

设风垂直于线条方向吹时, 垂直于线条方向的风荷载标准值为 W_{x90} , 则

$$W_{x90} = \beta_c \alpha_L W_0 \mu_z \mu_{sc} d L_p B_1 \quad (2)$$



> 图1 转角塔风荷载示意图

按图1中的坐标系定义风向角 β 和以及导地线的线条角 α , 风向角是风向与垂直于横担方向的夹角, 线条角是导线与垂直于横担方向的夹角。一般转角塔的基础分坑会使前后的线条角相等, 因此图中前后侧的线条角均为 α 。

在局部坐标系中, 垂直于线条方向的风荷载标准值为:

$$W_1 = W_{x90} \sin^2 (\beta - \alpha) \quad (3)$$

$$W_2 = W_{x90} \sin^2 (\beta + \alpha) \quad (4)$$

上式中的 W_1 和 W_2 为矢量, 假设前后侧的档距相等, 将线条风荷载按塔身方向进行十字分解, 可将上述风荷载转化为整体坐标系下的合力值:

$$W_u = W_{x90} [\sin^2 (\beta - \alpha) \cos \alpha + \sin^2 (\beta + \alpha) \cos \alpha] \quad (5)$$

$$W_v = W_{x90} [\sin^2 (\beta - \alpha) \sin \alpha - \sin^2 (\beta + \alpha) \sin \alpha] \quad (6)$$

工程中, 计算常规转角塔的 90° 风荷载时, 认为风向与线条和塔身的角度都是 90° 度, 将吹线条的 90° 度风荷载全部作用在平行于横担方向, 不进行分解, 即当 $\beta = 90^\circ$ 时

$$W_{u90} = 2W_{x90} \quad (7)$$

$$W_{v90} = 0 \quad (8)$$

特高压工程计算 45° 风荷载时, 此时的 45° 是风与垂直于横担方向的夹角, 并考虑风向与线条的实际角度, 但亦将风荷载全部作用在平行于横担方向, 此时

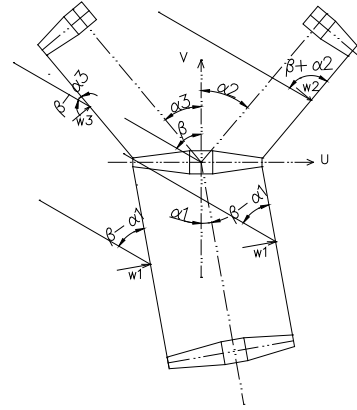
$$W_{u45} = W_{x90} [\sin^2 (45 - \alpha) + \sin^2 (45 + \alpha)] \quad (9)$$

$$W_{v45} = 0 \quad (10)$$

上述计算方法, 混淆了风向与垂直于横担方向的夹角以及风向与线条之间的夹角, 但从数值角度来说, 式 (7) 和式 (8) 取到了 W_u 的最大值, 这种保守取法在工程中是可以接受的。按照上述计算方法, 对比式 (7) 和 (9) 可知, 45° 风荷载的值是小于 90° 风荷载的, 因此计算 45° 风荷载意义是不大的, 这也是为什么一般耐张塔只计算 90° 风向风荷载的原因。

二、分支塔线条风荷载计算

对于分支塔, 其左右两个回路在线路方向前后侧共有 3 个方向的线条, 可按图2中的坐标系定义分支塔的风向角 β 和以及导地线的线条角 α_1 、 α_2 和 α_3 , 风向角和线条角的定义方式与普通转角塔一致。



> 图2 分支塔风荷载示意图

在局部坐标系中, 垂直于线条方向的风荷载标准值为:

$$W_1 = W_{x90} \sin^2 (\beta - \alpha_1) \quad (11)$$

$$W_2 = W_{x90} \sin^2 (\beta + \alpha_2) \quad (12)$$

$$W_3 = W_{x90} \sin^2 (\beta - \alpha_3) \quad (13)$$

式 (3)~式 (5) 中, $W_1 \sim W_3$ 均为矢量。

将线条风荷载按塔身方向进行十字分解, 可将上述风荷载转化为整体坐标系下的合力值:

$$W_u = W_{x90} \left[2 \sin^2 (\beta - \alpha_1) \cos \alpha_1 + \sin^2 (\beta + \alpha_2) \cos \alpha_2 + \sin^2 (\beta - \alpha_3) \cos \alpha_3 \right] \quad (14)$$

$$W_v = W_{x90} [2 \sin^2 (\beta - \alpha_1) \sin \alpha_1 - \sin^2 (\beta + \alpha_2) \sin \alpha_2 + \sin^2 (\beta - \alpha_3) \sin \alpha_3] \quad (15)$$

当 $\beta = 90^\circ$ 时, 可得

$$W_{u90} = W_{x90} (2 \cos^3 \alpha_1 + \cos^3 \alpha_2 + \cos^3 \alpha_3) \quad (16)$$

$$W_{v90} = W_{x90} [2 \cos^2 \alpha_1 \sin \alpha_1 - \cos^2 \alpha_2 \sin \alpha_2 + \cos^2 \alpha_3 \sin \alpha_3] \quad (17)$$

当 $\beta = 45^\circ$ 时, 可得

$$W_{u45} = W_{x90} \left[2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \alpha_1 \right) \cos \alpha_1 + \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \alpha_2 \right) \cos \alpha_2 + \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \alpha_3 \right) \cos \alpha_3 \right] \quad (18)$$

$$W_{v45} = W_{x90} [2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \alpha_1 \right) \sin \alpha_1 - \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \alpha_2 \right) \sin \alpha_2 + \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \alpha_3 \right) \sin \alpha_3] \quad (19)$$

可见，对于分支塔，由于前后侧不同方向的线条角度差异较大，不能直接将 W_v 视为 0，也不宜按式 (9) 方式去简化 W_{u45} ，因而忽略 45 度风工况。因此，本文将按式 (16)~(19) 对风荷载进行十字分解计算，并比较 90 度风和 45 度风对分支塔杆塔受力的影响。

三、算例分析

某 220kV 输电线路工程中的 N38 分支塔设计条件为：导线型号为 2×JL3/G1A-400/35；地线型号为 JLB20A-150；基本风速 25.0m/s；覆冰 10mm。该塔的基础分坑图 3 所示。

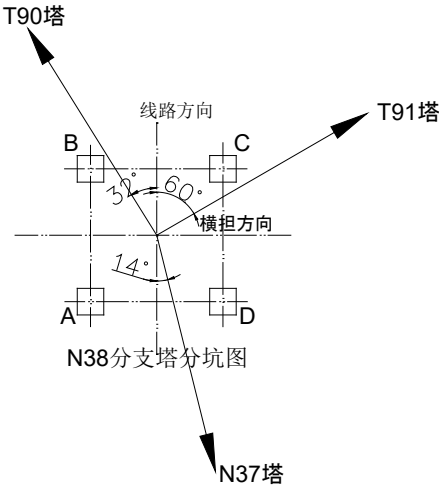


图3 分支塔分坑示意图

首先，对比了常规计算方法与本文计算方法的结果差异，在大风工况下，作用在单个挂点处的点荷载设计值如表 1 所示，表中数值包含了线条张力在横担方向和线路方向的分力。相比本文计算方法，常规方法的计算结果中，地线在横担方向的合力增大了 2.06kN，每层导线在横担方向的合力增大了 9.31kN，地线在线路方向的合力增大了 1.46kN，每层导线在线路方向的合力增大了 5.8kN。经过铁塔内力计算，主材应力比增加 9.3%，斜材应力比增大 0.3%，基础上拔力增加 12.7%，基础下压力增加 7.8%。可见，常规方法计算的荷载要大于本文计算方法，较为保守。

参考文献

[1] 电力规划设计总院，国家能源局. 架空输电线路杆塔结构设计技术规定：DL/T 5154-2012 [S]. 北京：中国计划出版社，2012.
[2] 张珊，李健，徐维毅，等. 角度风对转角塔水平荷载的影响 [J]. 电网与清洁能源，2013，29(7):4.
[3] 潘峰，高志林，王轶文，等. 360° 风作用下线条风荷载分配系数特性 [J]. 中国电力，2014，47(10): 64-65.
[4] 朱晓东，张超，易青. 角度风时线条风荷载及其张力的计算方法 [J]. 山西电力，2016(3):4.
[5] 廖邢军，黄兴，韩大刚，等. 耐张塔导线角度风荷载取值探讨 [J]. 特种结构，2018,35(3):61-67.
[6] 沈国辉，包玉南，郭勇，等. 输电线路顺线路方向风荷载及分配模式 [J]. 2020.DOI:10.3785/j.issn.1008-973X.2020.09.001..
[7] 电力规划设计总院，国家能源局. 架空输电线路荷载规范：DL/T 5551-2018 [S]. 北京：中国计划出版社，2018.
[8] IEC 60826-2003. Design criteria of overhead transmission lines [S]. Geneva: International Electro-technical Commission, 2003.
[9] ASCE 74-2009. Guidelines for electrical transmission line structure loading [S]. Virginia: American Society of Civil Engineers, 2009.
[10] 王新宇，施菁华，曹玉杰，等. 超高压输电线路耐张塔 45° 风荷载的计算与分析 [J]. 电力建设，2012，33(12):4.

表 1 分支塔点荷载设计值 (kN)

计算方法	分力方向	N37 侧		T90 侧		T91 侧	
		地线	导线	地线	导线	地线	导线
常规方法	横担方向	9.73	29.33	-14.99	-38.69	29.62	76.10
	线路方向	-30.96	-85.77	26.62	74.71	15.94	39.67
本文方法	横担方向	9.56	28.64	-15.30	-41.47	28.21	70.95
	线路方向	-30.50	-83.97	27.39	77.75	15.71	38.83

其次，对比本文计算方法下，90 度风荷载与 45 度风荷载的结果差异。在大风工况下，作用在单个挂点处的点荷载设计值如表 2 所示，表中数值包含了线条张力在横担方向和线路方向的分力。相比于 90 度风，在 45 度风荷载作用下，地线在横担方向的合力减小了 3.08kN，每层导线在横担方向的合力减小了 12.21kN，地线在线路方向的合力增大了 4.00kN，每层导线在线路方向的合力增大了 15.33kN。经过铁塔内力计算，主材应力比增加 16.0%，斜材应力比减小 8.9%，基础上拔力增加 23.3%，基础下压力增加 14.7%。可见，相比于 90 度风，45 度风对分支塔有更不利的影响。同时，对比可知，本文计算方法的 45 度风荷载也比常规方法的 90 度风荷载对主材更不利、基础作用力更大。因此，本文建议在进行分支塔的铁塔设计时应考虑 45 度风的工况。

表 2 分支塔点荷载设计值 (kN)

风向	分力方向	N37 侧		T90 侧		T91 侧	
		地线	导线	地线	导线	地线	导线
90 度风	横担方向	9.56	28.64	-15.30	-41.47	28.21	70.95
	线路方向	-30.50	-83.97	27.39	77.75	15.71	38.83
45 度风	横担方向	8.34	23.82	-16.27	-45.25	28.54	72.16
	线路方向	-31.22	-86.81	26.23	73.22	14.31	33.71

四、结束语

通过对分支塔线条风荷载计算公式的推导，并基于算例结果，给出工程中分支塔风荷载计算的如下建议：

- (1) 对于分支型耐张塔，建议铁塔设计时，基于风荷载的分解计算，考虑 45 度大风工况；
- (2) 分支塔可考虑多角度风荷载，在铁塔计算软件支持的基础上，同时计算 90°、60°、45° 等风荷载，增加铁塔设计的安全冗余度。

基于深度学习的电气设备故障诊断与预测方法研究

赵军年, 胡雨

国网江西省电力有限公司南昌市新建区供电分公司, 江西 南昌 331000

摘 要 : 随着电气设备在现代工业中的广泛应用, 其运行的安全性和可靠性成为关键问题。传统的故障诊断方法受限于数据特征提取能力和诊断精度, 难以满足复杂系统下的需求。本文基于深度学习技术, 系统性研究了电气设备故障诊断和预测的理论与方法。首先, 综述了电气设备故障诊断领域的现状及深度学习技术的最新进展; 接着, 分析了深度学习在特征提取和数据建模中的优势, 探讨了适合电气设备的神经网络模型及改进策略; 然后, 构建了电气设备故障诊断与预测的整体框架, 设计了实验验证深度学习模型的性能; 最后, 总结了研究发现并展望了未来发展方向。^[1]

关 键 词 : 电气设备; 深度学习; 故障诊断; 故障预测; 神经网络; 数据建模

Research on the Fault Diagnosis and Prediction Method of Electrical Equipment Based on Deep Learning

Zhao Junnian, Hu Yu

State Grid Jiangxi Electric Power Co., LTD. Nanchang Xinjian District Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi 331000

Abstract : With the widespread application of electrical equipment in modern industries, ensuring operational safety and reliability has become a critical concern. Traditional fault diagnosis methods are limited in feature extraction capacity and diagnostic accuracy, making them inadequate for complex systems. This paper systematically investigates fault diagnosis and prediction methods for electrical equipment based on deep learning techniques. Firstly, it reviews the current state of fault diagnosis in electrical equipment and recent advances in deep learning. Then, the advantages of deep learning in feature extraction and data modeling are analyzed, and suitable neural network models and improvement strategies for electrical equipment are explored. Subsequently, a comprehensive framework for fault diagnosis and prediction is developed, and experiments are conducted to validate the performance of deep learning models. Finally, the findings are summarized, and future research directions are discussed. Experimental results demonstrate that deep learning-based methods significantly enhance diagnostic accuracy and predictive capabilities, providing robust technical support for the operation and maintenance of electrical equipment.^[1]

Keywords : electrical equipment; deep learning; fault diagnosis; fault prediction; neural networks; data modeling

引言

电气设备在电力、工业、交通等领域应用广泛, 其运行状态直接影响系统的安全性与可靠性。一旦发生故障, 不仅会导致经济损失, 还可能引发严重的安全事故。因此, 电气设备的故障诊断与预测技术成为保障系统稳定运行的重要手段。传统的故障诊断方法多依赖于经验模型和统计分析, 其效果往往受到数据复杂性和设备非线性特性的限制, 难以适应现代智能化工业的需求。近年来, 随着人工智能技术的快速发展, 深度学习为故障诊断与预测提供了一种全新的思路。其强大的特征学习和模式识别能力, 尤其在复杂、多维数据处理中的表现, 展现出极大的潜力。^[2]

一、基于深度学习的电气设备故障诊断方法研究

(一) 数据采集与预处理

数据是基于深度学习的故障诊断技术的核心要素, 数据的质量和数量直接影响模型的性能和诊断的准确性。在本研究中, 主要的电气设备故障数据通过以下途径获取: 一是实验室条件下的

模拟测试数据, 通过模拟实际工况 (如过载、短路、温升等) 采集相关设备运行状态和故障数据; 二是工业现场的历史运行数据, 这些数据通常来源于工业现场监控系统或 SCADA 系统, 并包含设备的长期运行及维修信息。针对这些原始数据, 本文进行了全面的收集和构建, 将多种格式和来源的数据规范化为统一的数据集。

作者简介: 赵军年 (1994.12-), 男, 汉族, 江西省永丰县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电气工程及其自动化, 身份证号: 362425199412231213, 邮箱: 1079714680@qq.com。

为了提高数据质量，在数据采集后，需要对数据进行清洗和归一化处理。数据清洗方面，我们通过去除异常值（如传感器错误导致的极值）、填补缺失值（采用插值法或均值法）以及剔除低质量数据（如信噪比过低的数据）来确保数据集的干净和高可用性；归一化方面，为了提高模型的收敛速度，采用 max-min 标准化和 z-score 标准化方法将不同尺度的数据归一化到统一范围。^[3]

在数据量不足或者类别不均的情况下，数据增强方法成为必要手段。本研究引入了噪声扰动、平移、镜像等空间增强方法以及基于 GAN（生成对抗网络）的数据生成技术，增加数据的多样性并平衡各类故障样本的占比，以消除数据不均衡对模型诊断能力的影响。

（二）故障诊断模型构建

故障诊断模型的构建是研究的核心环节。本研究结合电气设备的多样性和深度学习方法的特性，探索了 CNN（卷积神经网络）、RNN（循环神经网络）和 Transformer 等主流深度学习模型在故障分类与诊断中的应用。

针对时序信号数据（如电流、电压和温度等传感器信号），模型设计时选用了 RNN 及其变种（如 LSTM 和 GRU）进行故障模式的提取与建模，这类模型能够有效捕捉时间维度上的长期依赖信息；而对于二维或更高维度结构化数据（如频谱图、热成像图），CNN 在特征提取方面表现出强大优势，其通过卷积操作可以提取数据的空间局部特征。本研究还尝试了 Transformer 模型，该模型以其优秀的全局信息捕捉能力，有望提升复杂工况下的故障预测准确性。此外，通过融合不同模型的优点，提出了基于 CNN-RNN 混合架构的多模态诊断方法，以实现时空信息的高效整合。^[4]

（三）模型训练与优化

深度学习模型的高效训练直接关系到故障诊断的性能表现。在模型训练中，损失函数的设计是至关重要的一环。本研究采用交叉熵损失函数对分类任务进行优化，对于类别不均衡问题，还通过添加权重处理来提升对少数类故障的诊断能力。此外，在回归任务中，选择均方误差（MSE）损失函数，以确保模型输出与真实值的误差最小化。

优化模型参数是提升模型性能的关键步骤。本研究通过动态调整学习率（如采用 Adam 优化器的自适应学习率机制），有效避免了过快收敛或陷入局部最优的问题；同时引入 L2 正则化与 Dropout 技术，降低模型过拟合风险并提升泛化能力。为进一步增强模型的学习效率，采用了分布式训练方法，在多台服务器和 GPU 集群上对大规模数据进行了训练，从而显著缩短了训练时间。^[5]

此外，为确保模型的性能稳定性与鲁棒性，在训练过程中通过早停止策略避免过拟合，并通过 k 折交叉验证对整个模型流程进行了严格的评估。

二、基于深度学习的电气设备故障预测方法研究

（一）故障预测的主要挑战包括：（1）监控数据中可能存在噪声和异常，对模型的鲁棒性提出较高要求；（2）故障样本稀

缺，导致预测任务中正负样本极不平衡；（3）时间序列中的短期波动和长期趋势的复杂性，要求模型能够有效捕捉多尺度依赖关系。针对这些问题，深度学习方法以其强大的特征提取与时间建模能力展现出独特的优势。

（二）时间序列数据建模与预测框架

针对电气设备的故障预测问题，本文基于深度学习提出一个通用的时间序列数据建模与预测框架，该框架主要包括数据预处理、特征建模和预测推断三个阶段。

1. 数据预处理：为了提高预测模型的性能，需对原始监控数据进行处理，包括去噪、归一化和时间对齐。首先，通过滑动窗口切分时间序列数据，构造输入和目标预测值的映射；然后，使用低通滤波器或深度自编码器完成噪声数据的平滑处理；最后，针对多变量时序特征，采用主成分分析（PCA）或特征选择方法减少冗余信息。

2. 特征建模：时间序列的高效建模是构建故障预测模型的核心。本文结合不同深度学习模型的特点。

3. 预测推断：在特征提取阶段提取到的潜在特征由全连接层进行映射，用于输出故障类别标签或 RUL 估计值。对于分类问题，常使用交叉熵损失函数和 Softmax 作为输出层，对于 RUL 估计，则采用均方误差（MSE）作为回归损失函数。^[6]

（三）故障预测模型优化策略

为了提升故障预测模型的精度和鲁棒性，本文采用以下几种策略进行模型优化：

1. 数据增强：针对故障数据稀缺的情况，提出基于生成对抗网络（GAN）的数据增强方法，模拟故障信号；此外，利用滑动窗口扩展时间序列数据规模，提高模型泛化能力。

2. 样本权重调整：为解决样本不平衡问题，使用自适应损失函数或类别加权策略，增加模型对故障样本的敏感性。

3. 超参数优化：通过贝叶斯优化（Bayesian Optimization）和网格搜索（Grid Search）方法对模型超参数进行自动寻优，以提升模型性能。

4. 多模型融合：将 LSTM、GRU 和 Transformer 等不同架构组合，通过投票机制或加权方式融合预测结果，提升最终模型对复杂时序数据的适应性和鲁棒性。

5. 模型解释性分析：通过梯度加权类激活映射（Grad-CAM）或注意力可视化的方法，分析模型聚焦的时间序列特征区域，验证模型在故障预测中的可靠性。^[7]

三、基于深度学习的电气设备故障诊断与预测系统

（一）系统总体架构设计

为了有效实现电气设备的故障诊断与预测功能，设计了基于深度学习技术的综合系统。系统总体架构由数据处理模块、模型分析模块以及可视化与报警模块构成，各模块相辅相成，共同完成从数据采集到诊断预测结果展示的全过程。

1. 数据处理模块

数据处理模块是系统的核心基础部分，主要包括数据采集、

数据预处理和特征提取三大功能。通过传感器和 IoT 设备自动采集电气设备的运行数据，包括电流、电压、温度、振动信号等。将采集到的原始数据经过去噪、归一化处理，并对数据进行分段和时间序列分析，同时提取有助于模型学习的特征，例如频域特征、时域特征以及多维联合特征，为后续深度学习模型的训练和预测提供高质量数据输入。^[8]

2. 模型分析模块

模型分析模块利用深度学习模型对数据进行训练、诊断和预测。基于早期对卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）以及注意力机制模型的选型分析，本系统选择了一种结合 CNN 和长短时记忆网络（LSTM）的混合模型进行故障诊断与趋势预测。CNN 负责提取信号数据的局部特征，而 LSTM 则用于捕捉时间序列数据的长期依赖关系。在模型训练过程中，通过超参数优化方法和交叉验证提高模型的诊断准确率和预测稳定性。

3. 可视化与报警模块

可视化与报警模块是系统用户交互的重要部分。该模块对深度学习模型的输出结果进行解释，以简单明了的方式向用户展示。可视化功能以折线图、故障热力图及趋势预测曲线等形式呈现诊断和预测数据；此外，系统设置了多级报警机制，当设备的故障指标或预测风险达到设定阈值时，系统会生成报警信息并通过短信、邮件或工业控制系统传递给相关人员，以便及时采取维护措施，避免设备损坏或停机事故。^[9]

（二）系统功能实现与应用场景

本系统围绕电气设备的实际运行需求，设计了故障诊断和趋势预测两大核心功能，并结合典型工业场景对功能应用进行了优化。

1. 故障实时诊断功能设计

故障实时诊断功能基于深度学习模型的分类能力，对电气设备运行状态进行实时监测和判断。通过数据采集模块传来的信号时序，系统能够快速分类设备的运行状态，如正常、故障前兆、轻微故障与严重故障等。由于采用了训练充分的混合深度学习模型，诊断准确率较传统方法显著提高。同时，系统根据分类结果结合历史数据生成设备运行状态的诊断报告，明确标识每项指标的健康状况及可能存在的问题。

2. 故障趋势预测功能实现

趋势预测功能通过对设备运行过程中生成的大量历史数据进行分析，预测电气设备可能的故障发生时间及发展趋势。系统利

用 LSTM 网络捕捉数据时序中的潜在规律，预测未来一段时间内关键运行指标的变化情况，如温升趋势、电流波动及振动幅度的增长等。当预测结果显示关键参数即将超出临界值时，系统会提前发出预警，协助运维团队制定预防性维护计划。故障趋势预测功能特别适用于风电场、变电站等对设备工作连续性要求较高的场景。

（三）系统测试与实际应用效果评估

为了验证系统的有效性和可靠性，对设计的故障诊断与预测系统进行了多轮测试，并在真实工业场景中进行了试用评估。

首先，系统在公共故障数据集和工业自有数据集上分别进行了离线测试，结果表明，诊断模块的平均准确率达到98.6%，趋势预测模块的平均误差率控制在3.7%以内，性能居于行业领先水平。其次，在风电机组故障监测应用中，系统准确检测出了多个关键部件的潜伏故障并成功预测未来72小时内的异常趋势，为工程师提前更换零部件争取了时间。在变电站设备监测中，系统实现了对变压器绕组过热问题的精准报警，避免了设备的进一步损坏。

基于测试与实际应用效果评估，证明了系统在电气设备故障诊断与预测方面具有卓越表现，不仅显著提升了设备运行可靠性，还在工业生产中减少了维护成本与经济损失，为智能电网和工业物联网应用提供了技术支持。^[10]

四、结语

通过本研究，基于深度学习的电气设备故障诊断与预测方法得到了系统性研究与验证。主要研究成果如下：针对电气设备故障诊断与预测问题，本研究基于卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）、长短期记忆网络（LSTM）以及 Transformer 模型，成功构建了一套完整的诊断与预测方法。实验结果表明，基于深度学习的模型在故障分类、故障严重性评分及趋势预测方面均表现出优异的性能。创新性：本研究创新性地采用 Transformer 模型处理时序信号，并与传统 LSTM 方法对比，验证了在高维故障数据上的优势。提出多模态数据融合策略，结合振动信号、热成像信号与电气信号，从多角度增强了故障诊断的全面性和准确性。开发了基于预测结果的预防性维护框架，有效降低了电气设备突发性故障的风险，为工业现场的智能运维提供了新的思路。

参考文献

- [1] 李彦夫, 韩特. 基于深度学习的工业装备 PHM 研究综述 [J]. 振动. 测试与诊断, 2022, 42(05).
- [2] 穆伟蒙; 宋燕; 裴军. 基于密度峰值聚类算法的自适应加权过采样算法 [J]. 智能计算机与应用, 2022(06).
- [3] 向玲; 王朋鹤; 李京蕾. 基于 CNN-LSTM 的风电机组异常状态检测 [J]. 振动与冲击, 2021(22).
- [4] 郑建华; 李小敏; 刘双印; 李迪. 融合级联上采样与下采样的改进随机森林不平衡数据分类算法 [J]. 计算机科学, 2021(07).
- [5] 刘惠; 刘振宇; 郑维强; 张栋豪; 谭建荣. 深度学习在装备剩余使用寿命预测技术中的研究现状与挑战 [J]. 计算机集成制造系统, 2021(01).
- [6] 苟永明. 第十三届全国测试与故障诊断技术研讨会取得圆满成功 [J]. 计算机测量与控制, 2004, (06): 603. DOI: 10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2004.06.032.
- [7] 师文谦. 浅谈计算机的故障诊断 [J]. 计算技术与自动化, 1986(03).
- [8] 颜丙生; 刘兆亮; 刘自然. 小样本下基于元学习的跨机械部件故障诊断 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(10).
- [9] 陈文明. 数控机床的电器故障诊断及维修措施 [J]. 中国设备工程, 2017(10).
- [10] 叶银忠. 故障诊断技术的发展趋势及我们的对策 [J]. 自动化博览, 2002(03).

电力系统及其自动化技术的安全控制研究

李志刚

建投国电准格尔旗能源有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 010308

摘 要： 随着全球经济的持续发展和人口的不断增长，对电力的需求呈稳步上升趋势，在这种背景下，电力系统及其自动化技术对保证电力供应的稳定性和安全性起着重要的作用。本文对电力系统的安全控制及其自动化技术进行了深入的探讨，综合分析了当前的各种安全风险，如设备老化、网络攻击、人为操作失误等。针对这些风险，通过实施本文这些策略，可以有效提高电力系统的安全性能，确保电力供应的稳定性和可靠性，为社会的可持续发展提供有力保障。

关 键 词： 电力系统；自动化技术；安全控制；存在问题；策略分析

Research on the Safety Control of Electric Power System and its Automation Technology

Li Zhigang

Construction Investment Guodian Zhungeer Qi Energy Co., LTD. Ordos, Inner Mongolia 010308

Abstract： With the continuous development of the global economy and the continuous growth of the population, the demand for electricity shows a steady upward trend. In this context, the power system and its automation technology play an important role in ensuring the stability and security of the power supply. This paper deeply discusses the security control and automation technology of the power system, and comprehensively analyzes the current various security risks, such as equipment aging, network attack, human operation error, etc. In view of these risks, the implementation of these strategies in this paper can effectively improve the safety performance of the power system, ensure the stability and reliability of the power supply, and provide a strong guarantee for the sustainable development of the society.

Keywords： power system; automation technology; safety control; existing problems; strategy analysis

引言

电力系统作为现代社会的基础设施之一，其稳定性和安全性对经济发展和社会稳定具有重要意义，随着自动化技术在电力系统中的广泛应用，电力系统的智能化水平和效率得到了显著提高。然而，与此同时，电力系统的安全控制问题也日益突出，本文从安全控制的角度出发，对电力系统及其自动化技术进行深入分析，以期为提高电力系统的安全性能提供有益的参考。

一、影响因素分析

（一）技术因素

技术因素是电力系统安全控制及其自动化技术的核心，随着科学技术的进步，电力系统逐步实现了自动化和智能化，大大提高了系统的运行效率和可靠性，然而，它也带来了新的挑战，自动化技术的引入使得系统结构更加复杂，对技术要求也更高。一旦技术出现漏洞或故障，可能会对整个电力系统造成严重影响，技术因素的分析需要关注自动化技术的成熟度、系统的稳定性、数据的准确性和技术更新的速度。^[1]同时，电力系统中使用的各种设备和部件也是技术因素的重要组成部分，设备的质量、性能和使用寿命将直接影响电力系统的安全性能，如果设备有缺陷或严重老化，可能导致故障甚至系统崩溃，对设备的技术要求必须严

格，定期维护和检修也必不可少。

（二）管理因素

管理因素在电力系统及其自动化技术的安全控制中也起着重要的作用，有效的管理可以保证电力系统的稳定运行，降低故障发生的概率，首先是管理制度的完善，完善的管理制度可以规范员工的行为，保证各项操作符合规定，从而减少人为因素造成的故障，管理系统还可以明确责任分工，确保出现故障时能够快速定位问题并采取相应措施。其次，是管理流程的合理性，管理流程的优化可以提高工作效率，减少不必要的环节，从而降低系统运行的复杂性和风险，比如，通过优化调度流程，可以保证供电的稳定性和可靠性；通过优化维修流程，及时发现和处理设备故障，避免故障扩大。最后是管理团队的素质和能力，一支高素质的管理团队能够快速应对各种突发事件，保证电力系统的稳定运

作者简介：李志刚（1973.11-），男，汉族，河北省邢台市人，本科，工程师，研究方向：电力系统及其自动化。

行，需要具备丰富的专业知识和实践经验，能够准确判断问题的性质并制定相应的解决方案^[1]。

（三）环境因素

电力系统通常暴露在室外环境中，受温度、湿度、风和雨等自然因素的影响，这些自然因素可能导致设备加速老化、性能下降甚至损坏，高温可能导致设备过热，引发故障；潮湿的环境可能会导致设备绝缘性能的劣化，引起短路等问题。电力系统运行过程中，会产生大量的电磁场，这些电磁场可能会干扰周围的设备，导致设备性能下降或发生故障，电力系统可能受到外部电磁场的干扰，如雷电、无线电波等，也可能影响系统的稳定运行。随着城市化进程的加快和人口的不断增长，电力系统的运行环境也在不断变化，例如，城市扩张可能导致电力线和设备的空间有限；人口增长可能导致电力需求激增，这对电力系统的供电能力提出了更高的要求。这些因素可能会影响电力系统的安全性^[2]。

二、电力系统及其自动化技术的安全控制存在问题

（一）数据隐私与安全边界的模糊

随着电力系统自动化程度的提高，大量敏感数据被采集、存储和分析，包括但不限于用户用电信息、设备运行状态、故障预警等，然而，数据隐私和安全边界的模糊已经成为一个亟待解决的问题。一方面，集中的数据处理和分析有助于提高电力系统的效率和可靠性，但另一方面，也增加了数据泄露的风险，如何在保证数据高效利用的同时保证用户隐私和数据安全，成为了一个技术难题。虽然现有的数据加密、访问控制等技术在一定程度上缓解了这一问题，但面对日益复杂的网络攻击，这些技术的有效性仍需要不断验证和改进。同时，从法律角度来看，数据隐私和安全边界的模糊也带来了诸多挑战，不同的国家和地区有不同的数据隐私保护法律法规，这可能导致跨国数据传输和共享时的法律冲突。此外，随着大数据、云计算等技术的广泛应用，数据的所有权和使用权等法律问题日益突出，如何保护数据隐私，促进数据的合法合规使用，已经成为一个亟待解决的法律问题。

（二）自动化技术的伦理与责任

自动化技术的广泛应用提高了电力系统的运行效率和安全性，但也引发了一系列伦理和责任归属问题，自动化技术的快速发展可能导致人类操作技能的退化。随着自动化程度的提高，人类运行人员在电力系统中的角色逐渐从直接控制转变为监视和维护，这可能导致他们对电力系统的理解和控制能力下降，一旦自动化系统出现故障或误操作，人类操作员可能很难迅速做出正确的判断和反应。自动化技术的广泛应用也引发了责任归属的争议，当自动化系统出现故障或误操作时，如何界定责任成了一个难题。是技术问题造成的，还是管理不善或操作失误造成的？另外，自动化技术的广泛应用是否会导致过分依赖技术而忽视对电力系统本质的理解和掌握？这些问题不仅与技术本身有关，还与伦理、法律和社会责任有关。^[3]为了平衡技术发展和人类价值之间的关系，需要加强对自动化技术的伦理审查和监管。同时，也

要加强对人类运行人员的培训和教育，提高他们对电力系统的了解和掌握，还需要建立相应的责任归属机制，确保在自动化系统出现故障或误操作时，能够迅速找到责任主体，并采取相应的对策。

（三）缺乏跨领域协作和标准化

电力系统的安全控制及其自动化技术不仅涉及电力领域本身，还涉及信息技术、网络安全、数据管理等领域，缺乏跨领域协作和标准统一已成为制约电力系统安全控制水平提高的重要因素。一方面，不同领域之间的技术壁垒和沟通障碍使得信息共享和协同作战难以实现，例如，电力系统和信息系统之间的数据交换和共享可能受到技术标准和协议的限制，导致数据的有效流通和利用；另一方面，缺乏统一的技术标准和规范也使得不同厂商、不同系统之间的兼容性和互操作性成为问题，这不仅增加了系统集成的难度和成本，也降低了系统的整体安全性和可靠性。需要加强跨学科合作和技术整合，通过加强与国际组织、行业协会和科研机构的合作与交流，共同推动技术标准的制定和完善，也要加强新技术、新方法的研究和应用，促进电力系统及其自动化技术的不断创新和发展。

三、电力系统及其自动化技术的安全控制对策分析

（一）创新管理机制，提高系统灵活性

在电力系统及其自动化技术的管理中，引入创新机制是提高系统灵活性和适应性的核心策略，需要构建一个高度智能化的管理系统，该系统应该基于大数据分析和人工智能技术，能够实时监测电力系统的各种运行参数，如电压、电流、频率等，并通过预测算法提前发现潜在的故障或异常。当系统检测到异常时，应能自动触发预警机制，并根据预设的应急预案进行初步的自我调整，以减少故障对系统整体运行的影响。此外，创新管理机制还应包括鼓励电力企业和科研机构开展跨专业、跨行业的合作研发，通过整合不同领域的知识和技术资源，我们可以共同开发更高效、安全和环保的电力系统解决方案，比如物联网技术和区块链技术的结合，可以实现电力设备的远程监控和智能运维，提高设备的可靠性和使用寿命。在管理机制创新上，也要注意引入灵活的市场机制，鼓励电力企业和用户积极参与电力系统的优化升级，比如，通过在电力市场建立竞争机制，鼓励企业提高发电效率和供电质量，同时，通过实施需求侧管理政策，引导用户合理用电，降低电网峰值负荷，提高电力系统整体效益。

（二）加强人才培养，提升技术创新能力

人才是电力系统及其自动化技术发展的核心驱动力，为了提高技术创新能力，我们需要从多方面加强人才培养，高校和科研机构应加强与电力企业的密切合作，共同开设与电力系统及其自动化技术相关的专业课程和实践项目，通过校企合作，可以为学生提供更多的实践机会和就业指导，帮助他们更好地掌握专业知识和实践技能。同时，也应该鼓励电力企业内部的技术培训和交流活动。通过定期的技术研讨、技能竞赛等活动，激发员工的学习热情和创新潜力，企业还可以设立技术创新基金，鼓励员工提

出创新的想法和方案，并为其提供必要的资金和资源支持。在人才培养过程中，还要注重培养员工的团队合作精神和跨学科思维能力，通过组织跨部门的项目团队和跨学科的研究小组，可以促进不同领域之间的知识共享和思维碰撞，从而激发更多的创新灵感和解决方案。

（三）拓宽公众参与渠道，提升社会共治能力

电力系统及其自动化技术的安全控制不仅关系到电力企业的利益，也与广大公众的生活息息相关，需要拓宽公众参与渠道，提升社会共治能力。政府要加强电力系统安全监管的宣传教育，通过举办安全知识讲座、发放宣传资料等方式，普及电力系统安全知识，提高公众安全意识和自我保护能力。同时，也应该鼓励公众积极参与电力系统的安全监督和管理，比如，通过建立电力安全举报奖励制度，鼓励公众积极举报电力安全隐患和违法行为；或者通过设立电力安全咨询热线，为公众提供电力安全咨询和投诉服务，这些措施可以形成全社会共同关注、共同参与的电力安全监管格局。此外，还可以通过电力安全知识竞赛、电力安全主题日等活动，进一步激发公众对电力安全问题的关注和热情，通过这些活动，不仅可以提高公众的安全意识和自我保护能力，还可以促进电力企业与公众的沟通和交流，增强公众对电力企业的信任和支持。

（四）拓展国际视野，加强国际合作与交流

在全球化背景下，电力系统及其自动化技术的发展已经超越了国界，为了提高中国电力系统的安全性和可靠性，需要拓宽国际视野，加强国际合作与交流。要积极参与国际权力组织和多边

机制的合作交流活动，通过与国际同行分享经验和科技成果，学习先进的电力系统管理理念和技术手段，为我国电力系统的发展提供有益的借鉴。同时，也应该加强与其他国家在电力技术领域的合作和研发，通过联合开展科研项目和建设实验室，推动电力系统及其自动化技术的创新发展，还可以积极参与国际电力市场的竞争与合作，优化资源配置，提高电力系统的整体效率。^[3]在拓展国际视野、加强国际合作与交流的过程中，还要注重培养具有国际视野和跨文化交际能力的人才，通过选派优秀人才出国学习交流、参加国际会议，提高其国际竞争力和跨文化交流能力，还应加强与国际电力组织的沟通和联系，积极参与国际电力标准的制定和修订，以提高我国在国际电力领域的话语权和影响力^[3]。

四、结语

通过研究电力系统安全控制技术，可以提高电力系统的安全性和鲁棒性，保障国家的经济发展和社会稳定。目前，电力系统安全控制存在着安全漏洞、技术瓶颈和管理不善等问题。与国外相比，我国在电力系统安全控制技术方面存在一定差距，需要加强技术创新和应用，加快发展步伐。未来，电力系统安全控制将向智能化、数字化、网络化方向发展，政策法规和市场需求将对其发展产生重要影响。通过不断创新和完善，电力系统安全控制将为保障人类的用电需求，促进社会的可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 郭术明. 电力系统及其自动化技术的安全控制问题 and 对策 [J]. 石河子科技, 2021, (06):12-13.
- [2] 李小雄. 船舶电力系统自动化节能控制技术研究 [J]. 舰船科学技术, 2021, 43(08):94-96.
- [3] 朱莹莹, 刘红坤, 陈域, 白凤玲. 浅谈自动化控制技术在电力系统的应用 [J]. 电力设备管理, 2021, (09):206-208.

核电站维修脚手架作业的安全管理措施研究

袁孟豪

国核示范电站有限责任公司，山东 威海 264300

摘 要： 核电站运行期间，维修工作至关重要，而脚手架作为维修作业的主要平台，其安全管理直接关系到核电站的安全运行。本文详细探讨了核电站维修脚手架作业的安全管理措施，分析了当前脚手架作业中存在的常见安全问题，并提出了针对性的预防措施。通过对脚手架搭拆、材料质量、验收环节、使用过程及作业场地管理等方面的深入探讨，旨在提高核电站脚手架作业的安全管理水平，确保核电站的安全运行。

关 键 词： 核电站；维修脚手架；安全管理

Study on the Safety Management Measures for the Scaffolding Operation in the Maintenance of Nuclear Power Plant

Yuan Menghao

China National Nuclear Demonstration Power Station Co., LTD. Weihai, Shandong 264300

Abstract： During the operation of nuclear power plant, maintenance work is very important, and scaffolding, as the main platform of maintenance operation, its safety management is directly related to the safe operation of nuclear power plant. This paper discusses the safety management measures of nuclear power plant maintenance scaffolding operation in detail, analyzes the common safety problems existing in the current scaffolding operation, and puts forward targeted preventive measures. Through the in-depth discussion of scaffolding erection and dismantling, material quality, acceptance link, use process and operation site management, it aims to improve the safety management level of scaffolding operation of nuclear power plant and ensure the safe operation of nuclear power plant.

Keywords： nuclear power plant; maintenance of scaffolding; safety management

核电站作为能源供应的重要设施，其安全运行至关重要。在核电站的运行过程中，维修工作不可或缺，而脚手架作为维修作业的重要平台，在核电站的日常运行和维修中扮演着重要角色。然而，脚手架搭拆作业属于特种作业，安全风险较高，一旦管理不到位，可能会导致设备损坏、人员伤亡甚至停机停堆事件。因此，加强核电站维修脚手架作业的安全管理，是确保核电站安全运行的关键。

一、核电站维修脚手架作业常见安全问题

（一）安全意识淡薄

管理人员及工作人员安全意识淡薄，思想松懈，是脚手架作业安全问题的根源之一。部分承包商单位管理人员对脚手架作业的安全重视不够，没有对作业人员进行必要的安全技能教育。架子工没有经过正规专业的培训，存在冒险违章作业的情况，如不正确使用安全带、作业现场安全监护不到位等。这些行为给脚手架的搭设和使用过程留下了较大的安全隐患。

（二）脚手架材料质量不合格

脚手架材料属于周转性材料，在长期使用过程中，会出现钢管生锈、变形，扣件螺栓因腐蚀或磨损而导致的强度不足，底座变形不平整，脚手板生锈变形、焊接有缺陷，安全网目数及抗冲击强度不符合要求等一系列问题。这些问题严重影响了脚手架的稳定性和安全性，增加了作业过程中的风险。

（三）验收环节把关不严

脚手架搭设完毕后，安全管理人员在验收过程中没有严格按照验收单的相关要求执行，对不合格的地方没有及时纠正修改，忽略了脚手架存在的一些安全隐患。这种做法不仅降低了验收的有效性，还容易让工作人员产生侥幸心理，认为某些规范可以不严格遵守，从而导致更多的安全隐患。

（四）使用不当

脚手架是为检修工作设置的临时设施，其使用及承重有明确要求。然而，在实际使用过程中，使用者常常在脚手架上局部堆放过多的材料、工具或备件，导致脚手架局部或整体失稳。此外，使用者还可能私自修改脚手架结构，增加额外的荷载或改变其原有设计，这些行为都极大地增加了脚手架的安全风险。

（五）作业场地管理混乱

施工现场管理不到位，材料乱堆乱放，工具在使用后不及时清理等情况，都有可能造成安全事故。混乱的作业场地不仅影响

工作效率，还增加了人员受伤的风险。

二、核电站维修脚手架作业安全管理措施

（一）提高安全意识，加强安全管理力度

提高安全意识与加强安全管理力度是确保脚手架作业安全的关键。项目管理人员深知安全意识的重要性，因此，他们定期组织安全教育活动。例如，每月举行一次脚手架作业安全培训，邀请行业专家为架子工讲解最新的安全规范和操作技巧。培训中，不仅强调理论知识的学习，还注重实操技能的训练，确保每位架子工都能熟练掌握安全操作技能。在专业培训方面，项目团队与专业的培训机构合作，为架子工提供为期数周的系统培训。培训内容包括脚手架搭建与拆除的规范流程、安全防护措施的使用、应急处理措施等。通过考核的架子工将获得相应的资格证书，作为上岗的必备条件。项目管理人员加强巡检力度，确保脚手架作业过程中的安全。例如，在脚手架搭建过程中，管理人员会定期到现场进行安全检查，查看脚手架的搭建进度和质量，同时提醒架子工注意安全操作。对于重要或高风险的作业，如高空作业或复杂结构的搭建，项目团队会派遣经验丰富的安全员进行全程监护，确保作业过程的安全。此外，项目团队还建立了严格的脚手架验收制度。每次脚手架搭建完成后，都会组织由项目管理人员、安全员和架子工共同参与的验收工作。验收过程中，会逐一检查脚手架的稳固性、防护措施的完备性等，确保符合安全要求^[1]。通过这些实例，可以看出提高安全意识与加强安全管理力度对于确保脚手架作业安全的重要性。

（二）确保脚手架材料质量

确保脚手架材料质量是保障施工安全的基础。在脚手架搭建前，项目团队会派遣专业的材料检验员对每一批次的脚手架材料进行严格检查。例如，对于钢管，检验员会使用游标卡尺测量其壁厚和外径，确保符合设计要求。同时，检查钢管表面是否存在锈蚀、裂纹或明显的机械损伤。一旦发现不合格品，立即将其标记并隔离，避免与合格材料混淆。对于扣件，检验员会逐个检查其外观和功能性。扣件应无裂纹、变形或磨损，且能够牢固地固定在钢管上。检验员还会使用扭矩扳手测试扣件的紧固程度，确保其在受力时不会松动。此外，项目团队还建立了完善的材料质量追溯机制。每批材料入库时，都会记录其生产厂家、批次号、数量以及检验结果等信息。这样，一旦在施工过程中发现材料问题，可以迅速追溯到源头，查找原因并采取纠正措施。例如，如果发现某批次扣件在使用过程中频繁出现松动现象，项目团队可以立即停止使用该批次扣件，并联系生产厂家进行调查和处理。通过这些实际操作例子，可以看出，确保脚手架材料质量需要从多个环节入手，包括严格检查、及时报废不合格品以及建立追溯机制等^[2]。这些措施共同构成了脚手架材料质量控制的完整体系，为施工安全提供了有力保障。

（三）制定脚手架搭设规范

针对核电站的特殊安全需求，制定脚手架搭设规范需严谨细致。该规范应明确脚手架设计需遵循结构稳固、承载力强、易于

拆卸且符合抗震要求的原则；详细规定搭设方法，包括使用标准件连接、确保立杆垂直、横杆水平且间距均匀，以及设置必要的斜撑和剪刀撑以增强稳定性；在材料选择上，应选用高强度、耐腐蚀、无裂纹的钢管和扣件，并确保所有材料均经过严格的质量检测；同时，规范还应设定严格的验收标准，包括检查脚手架的整体稳定性、连接节点的牢固性、安全防护措施的完备性，以及是否符合核电站的特殊安全要求^[3]。脚手架搭拆工作人员需定期学习此规范，并在作业过程中严格按照规范进行搭设与拆除，以确保核电站脚手架的稳定性和安全性。

（四）严格验收程序

脚手架验收程序需严格执行以确保安全。验收前，应明确验收标准，涵盖结构稳定性、材料质量、连接节点牢固性等多个方面。脚手架搭设完成后，由专业的安全管理人员依据验收标准进行全面检查。验收过程中，安全管理人员需按照验收单所列内容逐一核对，包括检查立杆、横杆、斜撑等部件的搭设是否符合规范，扣件是否紧固，安全防护措施是否完备等。一旦发现不合格之处，应立即向搭设人员反馈，并明确指出问题所在，要求其立即进行整改。整改完成后，安全管理人员需再次按照验收单进行复查，确保所有问题均已得到妥善解决，脚手架符合安全要求^[4]。同时，建立验收记录制度至关重要，详细记录每次验收的时间、地点、参与人员、发现的问题及整改措施等信息，以便日后查阅和总结经验教训，不断提升脚手架搭设的安全管理水平。

（五）规范使用脚手架

脚手架搭设完成后，正式交付给使用人员前，必须详细交待使用过程中的各项注意事项。首先，使用者应严格遵守脚手架的使用规范，确保在平台上作业时不超过其承载能力，避免超载引发安全隐患。同时，使用者不得私自修改脚手架的结构，如拆卸、更换部件或改变其原有设计，以免破坏其整体稳定性。在使用过程中，使用者应保持高度警惕，时刻关注脚手架的状态。一旦发现脚手架存在异常，如晃动、变形、连接松动等情况，应立即停止使用，并迅速报告给管理人员。管理人员在接到报告后，应立即组织专业人员进行检查，并根据检查结果采取相应的处理措施。此外，为了确保脚手架的长期使用安全，还应建立定期检查和维修制度。由专业维护人员对脚手架进行全面检查，包括连接节点的紧固情况、材料的磨损程度等，及时发现并修复潜在的安全隐患^[5]。通过定期的检查和维护，确保脚手架始终保持良好的工作状态，为施工人员的安全提供有力保障。

（六）加强作业场地管理

作业场地的有效管理对于保障施工安全至关重要。现场工作负责人需承担起管理职责，确保作业现场秩序井然。首先，应严禁材料乱堆乱放，所有施工材料应按照类别和用途整齐码放，避免造成安全隐患。工具在使用完毕后，应及时清理归位，避免遗失或误用。监护人员作为现场安全的重要防线，应认真履行监护职责。他们需密切关注作业人员的操作行为，对不符合安全规范或操作规程的行为及时予以纠正，并督促作业班组立即整改^[6]。通过监护人员的有效监督，可以及时发现并消除潜在的安全隐患。此外，建立作业场地管理制度是保障管理效果的关键。制度

中应明确场地管理的要求和责任分工，确保每个区域、每个环节都有专人负责。同时，制度还应规定定期检查和考核的标准，以督促相关人员切实履行职责，确保作业场地的整洁和安全^[7]。通过制度的落实和执行，可以进一步提升作业场地的管理水平，为施工人员的安全提供有力保障。

三、其他安全管理措施

（一）建立应急预案

为确保脚手架作业安全，必须针对可能发生的紧急情况建立全面而有效的应急预案。预案应详细规划应急响应程序，明确在脚手架倒塌、人员受伤等紧急情况下，各相关部门和人员的具体职责与行动步骤，确保能够迅速启动应急机制，有效控制事态发展。预案中还应包含明确的救援措施，包括伤员的初步救治、紧急疏散路线、现场隔离与保护等，以最大程度地减少人员伤亡和财产损失。同时，应急资源的储备与调配也是预案的重要组成部分，包括急救设备、消防器材、通讯设备等，确保在紧急情况下能够迅速调用，满足救援需求。此外，定期组织应急演练是提升应急响应能力和水平的关键。通过模拟真实场景，检验预案的可行性和有效性，发现存在的问题与不足，并及时进行修订和完善^[8]。同时，演练还能增强作业人员的安全意识和应急反应能力，确保在紧急情况下能够冷静应对，有效自救互救。

（二）加强安全培训

安全培训是提升脚手架作业整体安全水平的关键环节。除了针对脚手架作业人员的定期培训外，还应将安全培训范围扩大至管理人员和其他相关人员。培训内容需涵盖脚手架的基本安全知识，如结构原理、承载能力等，以及具体的作业规范，包括搭设、使用、维护等方面的要求。同时，应急预案的学习也是培训

的重点之一。通过详细讲解应急预案的内容，包括应急响应流程、救援措施、应急资源使用等，使全员了解在紧急情况下如何迅速有效地采取行动，减少损失。通过这些培训，旨在提高全员的安全意识，使其能够自觉遵守安全规定，有效预防事故的发生^[9]。同时，增强应急能力，确保在紧急情况下能够冷静应对，及时采取正确的救援措施，保障人员安全和作业顺利进行。

（三）引入先进技术

在脚手架作业领域，先进技术的引入正逐步改变着传统的作业方式。智能监测设备的应用，如传感器和远程监控系统，能够实时监测脚手架的稳定性和安全性，及时发现并预警潜在的安全隐患，从而有效预防事故的发生。此外，无人机技术的运用也为高空作业提供了新的解决方案。无人机可以搭载摄像头或其他检测设备，对脚手架进行高效、精准的巡检，不仅提高了作业效率，还降低了人员直接参与高空作业的风险。这些先进技术的应用，不仅提升了脚手架作业的技术含量和作业质量，更重要的是显著降低了安全风险，为施工人员的安全提供了更加坚实的保障^[10]。因此，应积极拥抱新技术，不断推动脚手架作业安全管理水平的提升。

四、结论

核电站维修脚手架作业的安全管理是一项复杂而重要的工作。通过提高安全意识、加强安全管理力度、确保脚手架材料质量、制定脚手架搭设规范、严格验收程序、规范使用脚手架、加强作业场地管理以及其他安全管理措施的实施，可以有效降低脚手架作业的安全风险，确保核电站的安全运行。未来，随着科技的进步和管理水平的提高，相信核电站维修脚手架作业的安全管理水平将得到进一步提升。

参考文献

- [1] 孙逸凡, 王禹帅, 徐健闻, 等. 浅谈附着式升降脚手架工程 [J]. 科学技术创新, 2020, (14): 138-139.
- [2] 胡继业, 牟芸, 萧澎伟, 等. 佛山百丈大桥养护维修悬挂式脚手架施工工艺 [J]. 公路, 2015, 60 (08): 98-101.
- [3] 林杰. 建筑结构加固维修改造工程型钢悬挑脚手架的施工安全探讨 [J]. 江西建材, 2015, (14): 60-61.
- [4] 张世民, 李登辉, 魏新江, 等. 六和塔保养维修悬臂脚手架的模型试验研究 [J]. 土木建筑与环境工程, 2013, 35 (S1): 45-51+72.
- [5] 张珏, 李登辉, 林锦涛, 等. 六和塔保养维修施工中悬挑脚手架对核心筒的作用 [J]. 浙江建筑, 2013, 30 (05): 23-26+35.
- [6] 王钟玉. 某维修施工脚手架倒塌事故安全技术分析及警示 [J]. 建筑安全, 2012, 27 (05): 46-47.
- [7] 武宽裕, 宋学青. 用于维修钢梁的拼装式脚手架 [J]. 铁道建筑, 1994, (08): 15-16.
- [8] 陈健民, 蔡体发. 砖混房屋外部维修工具脚手架系列简介 [J]. 四川建筑科学研究, 1994, (02): 58-64.
- [9] 姜传库. WDJ碗扣型多功能脚手架在桥梁维修中的应用 [J]. 铁道标准设计通讯, 1991, (09): 18-23.
- [10] 刘宏春. 灵活的维修脚手架 [J]. 建筑工人, 1988, (06): 15.

智能电网背景下国家电网电力安全管理体系的构建研究

张龙飞

国网青海省电力公司海南供电公司, 青海 海南州 813000

摘 要： 随着智能电网技术的快速发展，国家电网的电力安全管理体系正面临着新的挑战与机遇。智能电网以其自动化、信息化、互动化的特点，极大地提升了电力系统的运行效率和可靠性，但同时也对电力安全管理提出了更高的要求。本文深入探讨了智能电网背景下国家电网电力安全管理的重要性，分析了智能电网对国家电网电力安全管理的影响，并提出了构建智能电网背景下国家电网电力安全管理体系的路径。通过强化智能监控与预警机制建设、推动电力设施智能化改造与升级、完善电力安全管理制度与标准以及加强电力安全培训与文化建设等措施，旨在为国家电网的电力安全管理提供有力支持，确保电力系统的安全稳定运行。

关 键 词： 智能电网；国家电网；电力安全管理；监控与预警；智能化改造

Research on the Construction of Power Security Management System of State Grid under the Background of Smart Grid

Zhang Longfei

State Grid Qinghai Electric Power Company, Hainan Power Supply Company, Hainan Prefecture, Qinghai 813300

Abstract： With the rapid development of smart grid technology, the power safety management system of State Grid is facing new challenges and opportunities. With its automation, informatization and interactive characteristics, smart grid has greatly improved the operation efficiency and reliability of the power system, but at the same time, it has also put forward higher requirements for power safety management. This paper deeply discusses the importance of power security management of State Grid in the context of smart grid, analyzes the impact of smart grid on power safety management of State Grid, and proposes the path of building a power security management system of State Grid in the context of smart grid. By strengthening the construction of intelligent monitoring and early warning mechanism, promoting the intelligent transformation and upgrading of power facilities, improving the power safety management system and standards, and strengthening the power safety training and cultural construction, it aims to provide strong support for the power safety management of the State Grid and ensure the safe and stable operation of the power system.

Keywords： smart grid; state grid; power safety management; monitoring and early warning; intelligent transformation

电力作为现代社会的重要能源，其安全稳定供应对于保障社会经济发展、满足人民生活需求具有重要意义。随着智能电网技术的不断发展，国家电网的电力安全管理体系正面临着新的变革。智能电网以其高效、智能、可靠的特点，为电力系统的运行管理带来了革命性的变化。然而，智能电网的开放性、复杂性以及互联性也增加了电力安全管理的难度。因此，如何在智能电网背景下构建完善的电力安全管理体系，成为当前国家电网亟待解决的重要问题。

一、国家电网电力安全管理的重要性

（一）保障社会供电需求

电力供应是现代社会不可或缺的基础设施，对于保障工业生产、商业运营、居民生活等各方面的需求具有重要意义。国家电网通过加强电力安全管理，可以确保电力设施的正常运行，避免因设备故障、人为破坏或自然灾害等原因导致的停电事故。这不

仅关系到经济的稳定发展，更直接影响到人民群众的生活质量和社会的和谐稳定。

（二）保证电力系统的稳定性

电力系统的稳定性是电力供应安全的重要保障。随着智能电网的快速发展，电力系统的复杂性、互联性和开放性日益增加，给系统的稳定运行带来了新的挑战。国家电网通过加强电力安全管理，可以建立健全的电力安全管理体系，实时监测电力系统的

作者简介：张龙飞（1990.01—），男，汉族，陕西省咸阳市旬邑县人，大专，助力工程师，安全检查，国网海南供电公司，国网青海省电力公司海南供电公司。

运行状态，及时发现并处理潜在的安全隐患。这有助于确保电力系统的稳定运行，避免因系统崩溃或大规模停电等事故对经济社会造成重大影响。

（三）提升能源安全保障水平

能源安全是国家安全的重要组成部分，电力作为重要的二次能源，其安全稳定供应对于提升能源安全保障水平具有重要意义^[1]。在智能电网背景下，通过加强电力安全管理，可以实现对电力资源的优化配置和高效利用，提高电力供应的可靠性和稳定性。同时，智能电网的智能化、信息化特点也为能源安全管理提供了新的手段和方法，通过数据分析、预警预测等技术手段，可以及时发现并处理能源安全风险，提升能源安全保障水平。

二、智能电网对国家电网电力安全管理的影响

（一）提升电力系统的实时监控与预警能力

智能电网以其卓越的信息采集、处理和传输能力，为电力系统的安全运营开辟了新的篇章。通过遍布电网的传感器和先进的采集设备，智能电网能够实现对电力系统运行状态的全面、实时监测，精确捕捉电压、电流、频率等关键参数的变化情况^[2]。这一能力使得电网管理者能够迅速掌握电力系统的实时动态，为及时响应和高效处理提供了有力保障。更进一步，智能电网充分利用大数据、云计算等前沿技术，对海量数据进行深度挖掘和分析，从中挖掘出潜在的安全隐患和运行规律。这种基于数据的预警机制，不仅提高了电力系统的安全性，还使得电力安全管理变得更加精准和高效。通过实时监控与预警，智能电网为电力安全管理提供了更为准确、及时的信息支持，为电力系统的稳定运行和持续发展奠定了坚实基础。

（二）增强电力系统的可靠性和稳定性

智能电网通过其强大的资源配置与调度能力，显著提升了电力系统的可靠性和稳定性。它能够根据电力系统的实际需求，灵活调整电力资源的分配和调度策略，确保电力供需的动态平衡^[3]。智能电网运用先进的控制技术和算法，对电力系统的运行状态进行实时监控与优化，有效提高了运行效率和稳定性。这种优化不仅确保了电力供应的安全稳定，还大大降低了因系统故障引发的经济损失和社会影响，为经济社会发展和人民生活提供了更为坚实的电力保障。智能电网的这一特性，对于构建安全、高效、绿色的现代能源体系具有重要意义。

（三）促进电力安全管理措施的智能化与精细化

智能电网的智能化、信息化特点为电力安全管理措施的智能化与精细化提供了可能。通过引入先进的信息技术和智能化设备，智能电网可以实现电力安全管理措施的自动化、智能化和精细化。例如，智能电网可以利用智能传感器和监测设备实时监测电力系统的运行状态，通过数据分析、预警预测等技术手段及时发现并处理潜在的安全隐患^[4]。同时，智能电网还可以利用人工智能技术实现电力安全管理措施的自动化决策和执行，提高电力安全管理的效率和准确性。这种智能化、精细化的电力安全管理措施不仅可以提高电力系统的安全性，还可以降低电力安全管理

的人力成本和时间成本。

三、智能电网背景下国家电网电力安全管理体系的构建路径

（一）强化智能监控与预警机制建设

智能电网以其强大的信息采集、处理和传输能力，为电力系统的实时监控与预警提供了前所未有的机遇。为了充分利用这一优势，国家电网应致力于构建一套完善的智能监控与预警系统，以实现电力系统的全面、实时、精准监测^[5]。智能监控与预警系统的核心在于实时监测电力系统的各项关键参数，如电压、电流、频率、功率因数等。通过安装高精度传感器和采集设备，系统能够实时捕捉这些参数的变化，并将其传输至中央处理单元进行进一步分析。此外，系统还应具备强大的数据分析能力，能够运用先进的算法对采集到的数据进行深度挖掘，以揭示潜在的运行规律和安全隐患。在实时监测的基础上，智能监控与预警系统还应具备异常预警和快速响应的能力。当系统检测到参数异常或偏离正常范围时，应立即触发预警机制，向相关人员发送警报信息，并自动启动应急预案。同时，系统还应支持远程控制和自动化操作，以便在紧急情况下迅速采取措施，防止事态进一步恶化。除了实时监测和异常预警外，智能监控与预警系统还应具备预测预警的能力。通过对历史数据的分析和挖掘，系统可以建立预测模型，对未来一段时间内的电力系统运行状态进行预测。当预测到潜在的安全隐患或风险时，系统应提前发出预警，为相关人员提供足够的时间来制定和实施风险防控措施。

（二）推动电力设施智能化改造与升级

电力设施的智能化改造与升级是构建电力安全管理体系的重要一环。通过引入先进的智能化技术和设备，可以显著提高电力设施的运行效率和可靠性，从而降低故障发生的概率和损失^[6]。智能传感器和监测设备是电力设施智能化改造的基础。通过安装这些设备，可以实时监测电力设施的运行状态、温度、湿度等关键参数，并将数据实时传输至中央处理单元进行分析。这些数据可以为运维人员提供重要的参考信息，帮助他们及时发现和处理潜在的安全隐患。物联网技术是实现电力设施之间互联互通和数据共享的关键。通过引入物联网技术，可以将各个电力设施连接起来，形成一个庞大的物联网网络。在这个网络中，各个设施可以实时交换数据和信息，实现资源共享和协同工作。这不仅可以提高电力设施的运行效率，还可以降低运维成本和提高安全性。大数据和云计算技术是处理和分析电力设施运行数据的重要手段^[7]。通过运用这些技术，可以对海量的数据进行深度挖掘和分析，揭示潜在的运行规律和安全隐患。同时，云计算技术还可以提供强大的计算和存储能力，支持大规模数据的实时处理和分析。这为电力设施的智能化改造和升级提供了有力的技术支持。

（三）完善电力安全管理制度与标准

电力安全管理制度与标准是构建电力安全管理体系的重要保障。为了确保电力系统的安全稳定运行，国家电网应制定和完善一系列电力安全管理制度和标准。在电力系统的规划和设计阶

段,应充分考虑安全因素,制定严格的安全要求和标准^[8]。这包括电力系统的结构布局、设备选型、安全防护措施等方面。通过制定这些要求和标准,可以确保电力系统在建设和运行过程中具备较高的安全性和可靠性。在电力系统的运行和维护阶段,应建立健全的安全管理制度和操作规程。这包括设备的定期巡检、维护保养、故障处理等方面。同时,还应建立严格的安全责任制度,明确各级人员的安全职责和操作规范。通过加强安全管理,可以及时发现和处理潜在的安全隐患,确保电力系统的稳定运行。为了应对可能发生的电力安全事故,应建立完善的应急管理制度和事故处理机制。这包括应急预案的制定、演练和培训等方面。同时,还应建立事故报告和调查制度,对发生的事故进行及时报告和调查处理。通过加强应急管理和事故处理,可以最大限度地减少事故造成的损失和影响。

(四) 加强电力安全培训与文化建设

电力安全培训与文化建设是构建电力安全管理体系的重要基础。通过加强培训和文化建设,可以提高各级人员的安全意识和技能水平,为电力安全管理提供更加有力的人才保障^[9]。国家电网应定期开展电力安全培训和技能提升活动。这些培训和活动应涵盖电力系统的安全知识、操作技能、应急处理等方面内容。通过培训,可以帮助各级人员掌握必要的安全知识和技能,提高他们的安全意识和操作技能水平。除了理论培训外,还应加强实践演练和应急处理能力的培训。通过模拟真实的电力安全事故场景,让各级人员在实践中掌握应急处理的方法和技巧。同时,还

应定期组织应急演练活动,检验各级人员的应急处理能力和协作能力。安全文化建设是构建电力安全管理体系的重要组成部分。国家电网应加强安全文化的宣传和教育力度,营造“人人讲安全、事事为安全”的良好氛围。通过加强安全文化建设,可以提高各级人员的安全意识和责任感,形成共同维护电力系统安全的良好风尚^[10]。为了激发各级人员参与电力安全管理的积极性和主动性,应建立完善的激励机制和奖惩制度。对于在电力安全管理中表现突出的个人和团队,应给予表彰和奖励;对于违反安全规定和操作规程的行为,应给予相应的处罚和警示。通过激励机制和奖惩制度的建立和实施,可以推动电力安全管理工作的深入开展和持续改进。

四、结论

智能电网背景下国家电网电力安全管理体系的构建是一项复杂而艰巨的任务。通过多方面措施,可以构建完善的电力安全管理体系,提高电力系统的安全性和稳定性。未来,随着智能电网技术的不断发展和完善,国家电网电力安全管理体系的构建将更加注重智能化、信息化和精细化的发展趋势。同时,国家电网还应加强与国际先进电力安全管理经验的交流和合作,不断吸收和借鉴国际先进的安全管理理念和技术手段,推动国家电网电力安全管理水平的持续提升。

参考文献

- [1] 国网浙江电力安委会部署落实国家电网强化安全责任落实38项措施[J]. 电力安全技术, 2022, 24(04): 36.
- [2] 张友良. 数字化转型和体制机制建设是关键——访国家电网有限公司总信息师孙正运[J]. 国家电网, 2021, (05): 24-27.
- [3] 范斗, 张玉珠, 陈建国, 等. 电力系统远方安全控制装置研究[J]. 河南科技, 2021, 40(04): 32-34.
- [4] 张磊. 构建国家电网公司新时代安全观[J]. 电力安全技术, 2020, 22(07): 20-22.
- [5] 电力信息安全产品质量检测发布[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(01): 96-97.
- [6] 许文波. 电力监控系统网络安全监测装置. 山东省, 积成电子股份有限公司, 2019-12-14.
- [7] 邢小兰. 电力安全监察与电网安全运行的关系[J]. 科技创新导报, 2018, 15(33): 154+156.
- [8] 韩雨彤. A供电企业信息安全管理体系研究[D]. 华北电力大学(北京), 2018.
- [9] 梁晓. 国家电网电力系统计算机网络信息安全的防护研究[J]. 通讯世界, 2018, (01): 247.
- [10] 张婧. 信息安全在国家电网中的应用[J]. 通讯世界, 2017, (22): 164.

高压配电网规划中的可靠性与安全性分析

郝亮

国网冀北电力有限公司秦皇岛供电公司，河北 秦皇岛 066000

摘 要： 高压配电网规划中的可靠性与安全性分析是至关重要的，因为它们直接关系到电力系统的稳定运行和用户的电力供应质量。对其进行安全性与可靠性分析能够帮助规划者识别和评估潜在的风险和薄弱环节。针对于此本文首先对高压配电网规划基础进行分析，随后阐述了配电网规划中提升可靠性与安全性的意义，并针对当前稳定性与安全性提升中的难点，提出了相对应的优化策略。通过定期维护计划、利用人工智能技术等策略的实施，期望能为配电网的稳定安全运行提供帮助。

关 键 词： 高压配电网；可靠性；安全性

Reliability and Safety Analysis in High-Voltage Distribution Network Planning

Hao Liang

State Grid Jibei Electric Power Co., LTD. Qinhuangdao Power Supply Company, Qinhuangdao, Hebei 066000

Abstract： The reliability and safety analysis in the high-voltage distribution network planning is crucial, because they are directly related to the stable operation of the power system and the quality of the power supply of the users. Safety and reliability analysis can help planners identify and assess potential risks and weaknesses. In view of this paper, it first analyzes the foundation of high-voltage distribution network planning, then expounds the significance of improving reliability and security in distribution network planning, and puts forward the corresponding optimization strategy for the current difficulties in the improvement of stability and security. Through the implementation of regular maintenance plan and the use of artificial intelligence technology, it is expected to provide assistance for the stable and safe operation of the distribution network.

Keywords： high-voltage distribution network; reliability; security

引言

当今社会在经济的快速发展和人民生活水平的不断提高至之下，使得社会对电力的需求日益增长，电力系统的稳定性和可靠性显得尤为重要。高压配电网作为电力系统的重要组成部分，其规划的科学性和合理性直接关系到整个电力系统的安全稳定运行。因此对高压配电网进行可靠性与安全性分析，不仅能够确保电力供应的连续性和稳定性，还能有效预防和减少电力事故的发生。

一、高压配电网规划基础

（一）配电网结构与组成

配电网结构与组成是电力系统中至关重要的部分，它在电力系统运行中的工作内容是负责将电力从变电站输送到最终用户。配电网通常由中压配电线路、低压配电线路、配电变压器、配电自动化设备以及相关的保护和控制装置组成。其中中压配电线路一般采用10千伏或20千伏的电压等级，负责将电力从变电站传输到各个区域的配电变压器。这些变压器将中压电转换为适合家庭和商业使用的低压电，通常为220伏或380伏。低压配电线路则将电力从配电变压器输送到各个用户。

（二）规划目标与原则

而高压配电网规划基础的第二部分，规划目标与原则是整个

规划工作的核心。规划目标通常包括提高供电可靠性、优化网络结构、增强系统灵活性和扩展性、降低网损、提高电能质量以及确保电网安全稳定运行。此外研究人员在规划的过程中还应坚持可持续发展原则，以此来确保电网的长期稳定发展，适应未来负荷增长和新能源接入的需求。同时规划应具备一定的前瞻性，考虑到技术进步和政策变化，为电网的未来发展留有空间^[1]。

（三）规划流程概述

高压配电网规划流程是一个系统化、科学化的过程，它需要综合考虑电力系统的可靠性、经济性、灵活性以及未来的发展趋势。这就要求工作人员在具体的规划过程中，首先需要进行现状分析。这一步骤涉及收集和分析现有配电网的运行数据、负荷特性、设备状况等信息，以评估现有系统的性能和存在的问题。接下来工作人员需要根据地区经济发展规划、人口增长趋势、工业

布局等因素来预测未来一定时期内的电力需求，为配电网的扩展和升级提供依据。第三步是制定符合当地状况的规划目标。明确规划期内配电网应达到的技术标准、服务水平、经济指标等目标，确保规划方案的合理性和可操作性。最后是制定实施计划。确定最终的规划方案后，制定详细的实施步骤、时间表和预算，确保规划方案能够顺利实施^[2]。

二、配电网规划中提升可靠性与安全性的意义

（一）提升配电网可靠性与安全性的经济效益

随着城市化进程的不断加快，使得社会对电力的需求日益增长，而配电网作为电力系统的重要组成部分，它的可靠性和安全性直接关系到社会经济的稳定运行和人民生活的质量。在电力系统的运行当中，工作人员进行配电网的可靠性与安全性提升不仅能够保障电力供应的连续性，还能减少因故障导致的经济损失和社会影响。例如在某城市新区的配电网规划中，是个人通过引入先进的自动化技术和设备，就显著提高了故障检测和隔离的速度。使得在一次突发的雷击事件发生中，由于配电网具备了快速故障定位和隔离功能，仅影响了小范围的用户，而没有造成大面积停电。这不仅减少了用户的损失，还避免了因长时间停电可能引发的社会问题。据统计此次事件中由于配电网的快速响应，直接避免了约500万元的经济损失，并且提升了用户对电力供应可靠性的信心。

（二）提升配电网可靠性与安全性对环境保护的贡献

环境保护的迫切性已经不容忽视。随着工业化进程的加快和人口的不断增长，如气候变化、生物多样性丧失、空气和水污染等这些环境问题已经不仅威胁到人类的健康和生存，同时也对整个地球生态系统造成了不可逆转的损害。所以采取有效措施保护环境，实现可持续发展，已成为全球共识。在这些环境保护的措施当中，配电网规划中提升可靠性与安全性的意义重大。具体而言提高配电网的可靠性可以减少电力中断和故障的发生，从而降低因电力系统不稳定而产生的碳排放。例如通过优化电网布局和增强设备的抗灾能力，可以有效应对极端天气事件，减少因灾害导致的电力中断，进而减少应急发电所需的化石燃料消耗^[3]。

（三）提升配电网可靠性与安全性在技术创新中的推动效应

为了确保电力系统的稳定运行，配电网规划中提升可靠性和安全性显得尤为重要。在技术创新的推动效应这一层面而言，这一策略的实施不仅能够保障用户的电力供应，还能促进整个电力行业的可持续发展。首先通过采用先进的自动化技术和智能监控系统，可以实时监测配电网的运行状态，及时发现并处理潜在的故障和问题。这种智能化的管理方式大大提高了配电网的运行效率和故障响应速度，从而增强了系统的整体可靠性。其次技术创新还体现在新型材料和设备的应用上。例如使用高耐腐蚀性的材料可以减少因环境因素导致的设备损坏，延长设备的使用寿命。同时采用高效率的变压器和电缆等设备，可以降低能量损耗，提高电能的传输效率。这些技术进步不仅提升了配电网的安全性，也对环境保护和节能减排起到了积极作用。

三、配电网规划中提升可靠性与安全性的难点

（一）设备老化与维护不足导致的可靠性问题

随着现代社会电子设备的应用增多，导致配电网的负荷需求不断增长，这对配电网的可靠性与安全性提出了更高的要求。然而城市相关部门在实际的配电网规划中，提升这两个方面面临着诸多难点。其中设备老化与维护不足导致的可靠性问题尤为突出。例如在许多城市中的配电网设备应用中，研究人员发现去哦使用年限已久，电缆、变压器等关键设备的绝缘性能下降。同时由于些老旧城区历史原因，导致当时配电网的建设标准较低，设备更新换代速度缓慢，导致系统脆弱且容易发生故障。此外维护不足也是一个不容忽视的问题。由于配电网覆盖范围广且设备数量庞大，使得工作人员在维护工作开展中往往较为繁琐，而资金和人力资源往往有限，导致许多设备得不到及时的检查和维修。

（二）高峰负荷与电力需求预测不准确带来的挑战

城市相关部门在配电网规划中准确预测高峰负荷和电力需求是确保系统可靠性和安全性的关键。然而这一过程面临着诸多难点。举例来说随着现在可再生能源的大量接入，如风能和太阳能的发电量的发电受天气条件影响较大，导致电力供应的不确定性增加。这种不确定性使得负荷预测变得更加复杂，难以准确把握实际需求。

（三）自然灾害频发对配电网稳定性的威胁

在自然灾害频发的一些地区，配电网规划中提升可靠性与安全性的难点尤为突出。这些地区常常面临地震、洪水、台风、泥石流等多种自然灾害的威胁，这些灾害不仅对电力设施造成直接破坏，还可能引发连锁反应，导致更大范围的电力供应中断。因此相关政府部门在这些地区的配电网规划时，必须充分考虑这些因素来确保电力系统的稳定运行。

（四）新能源接入与分布式发电对电网管理的影响

近些年来在全球能源结构转型和环境保护意识增强的时代背景下，使得新能源的接入和分布式发电技术得到了快速发展。然而这些技术的广泛应用也给配电网规划带来了新的挑战，特别是在提升电网的可靠性和安全性方面。由于新能源的接入往往具有间歇性和不确定性，如风能和太阳能发电这就会使得电网的负荷预测变得更加复杂。配电网规划需要考虑如何在不同天气条件下保证电力供应的稳定性，这就要求电网具备一定的调节能力和储能设施。其次分布式发电系统通常由众多小型发电单元组成，它们的接入点分散，对电网的管理提出了更高的要求。如何有效地监控和调度这些分散的发电单元，确保它们能够协同工作，是配电网规划中亟待解决的问题。

四、配电网规划中提升可靠性与安全性的策略

（一）实施定期的设备检查和维护计划

随着技术的不断进步和对电力需求的日益增长，配电网规划中提升可靠性和安全性显得尤为重要。实施定期的设备检查和维护计划是确保配电网稳定运行的关键策略之一。政府相关部门通

过组织工作人员进行定期的检查，可以及时发现设备老化、损坏或潜在的故障点，通过及时的更新与维护来避免突发性停电事件的发生。此外政府部门在维护计划的实施开展中还应包括对设备性能的监测和评估，确保所有设备均处于最佳工作状态。

（二）利用大数据分析和人工智能技术

在人工智能技术的不断进步之下，政府部门可以在配电网规划中，利用大数据分析和人工智能技术来提升系统可靠性和安全性。在具体的人工智能应用中，它可以通过收集和分析来自电网各环节的海量数据实现对电网运行状态的实时监控和预测，从而提前发现潜在的风险和故障点。例如智能传感器可以部署在配电网的关键节点上，实时监测电压、电流、温度等参数。这些数据通过高速通信网络传输至数据中心，利用大数据分析技术进行处理和分析。通过机器学习算法，系统可以识别出数据中的异常模式，预测设备故障和电网故障的可能性，从而实现故障预警和预防性维护^[4]。

（三）设计和部署具有自我恢复能力的智能配电网

在当前高度数字化的社会背景之下，使得电力系统运行中的稳定性与安全性十分重要，而政府部门设计和部署具有自我恢复能力的智能配电网是保证这一目标的有效策略之一。例如政府部门可以通过安装智能断路器和自动化开关，使得配电网可以快速隔离故障区域，同时重新配置网络以最小化停电范围。在某城市配电网的升级项目中，当地政府部门在配电网的设计中就引入了先进的故障检测和隔离系统，当该系统检测到故障时能够自动将受影响的区域从电网中切除，并迅速将电源切换到备用线路，从

而保证了大部分用户的电力供应不受影响^[5]。

（四）制定合理的并网标准和政策

为了促进城市经济的稳定发展，最大化的避免因电力问题产生的经济损失，政府相应部门应制定合理的并网标准和政策。这就要求政府部门首先应建立一套完善的并网技术标准，确保各类分布式电源和储能设备能够安全、高效地接入配电网。这些标准应涵盖电压、频率、功率因数、电能质量等多个方面，以保证并网设备与配电网的兼容性和稳定性。其次政府和监管机构还应出台相应的激励政策，鼓励电力企业投资于配电网的升级改造。例如可以提供税收减免、财政补贴等措施，支持企业采用先进的自动化设备和信息化技术，提高配电网的智能化水平。此外还应制定合理的电价政策，引导用户合理用电，减轻电网负荷压力。

五、结语

综上所述，配电网规划在确保电力系统稳定运行、提升可靠性和安全性方面面临着诸多挑战。然而政府部门通过实施定期的设备检查和维护计划、利用大数据分析和人工智能技术、设计和部署具有自我恢复能力的智能配电网以及制定合理的并网标准和政策，可以有效应对这些挑战。这些策略不仅能够提高配电网的运行效率，还能增强其应对突发事件的能力，从而保障城市经济的稳定发展和居民生活的质量。未来随着技术的不断进步和政策的完善，配电网规划将更加智能化、高效化，为构建更加安全、可靠、绿色的电力系统奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 丘千钧. 高压配电网的发展规划分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(06): 138-139.
- [2] 权钊龙, 邢洁, 景小敏, 等. 基于混合聚类算法的高压配电网网架规划 [J]. 电气应用, 2021, 40(12): 80-87.
- [3] 罗恩博, 苏适, 张旭东, 等. 基于电力负荷预测的高压配电网变电站规划研究 [J]. 电气自动化, 2021, 43(05): 41-44.
- [4] 曾远方. 东莞地区高压配电网接线发展分析及建议 [J]. 机电信息, 2023, (21): 9-13.
- [5] 王强钢, 郭莹莹, 莫复雪, 等. 计及变压器短期急救负载的城市高压配电网负荷优化分配 [J]. 电力系统自动化, 2023, 47(19): 106-115.

核安全管理制度在核设施运营中的应用与优化策略

袁占锋

阳江核电有限公司，广东 阳江 529500

摘 要：核设施在电力，医疗和科研方面扮演着重要的角色，但是其中存在的运营风险也是不可忽视的。只有核设备运营操作人员，将核安全管理制度运用到核设施运营当中并对其进行优化，才能在实际工作中保证核设施安全运营。基于此前提，文章旨在通过对核设施运行过程中核安全管理制度的具体运用进行探究，并提出相关优化策略。以期望借助如此全方面的训练与知识管理策略，可显著提升核设施安全管理之品质与效益，在保障核能产业长期稳健发展之前提下，将可能存在之安全风险降至最低。

关 键 词：核安全管理制度；核设施运营；责任与权力划分；安全评估与监测；培训与知识管理

Application and Optimization Strategy of the Nuclear Safety Management System in the Operation of Nuclear Facilities

Yuan Zhanfeng

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

Abstract： Nuclear facilities play an important role in electric power, medical care and scientific research, but their operational risks cannot be ignored. Only when nuclear equipment operators apply the nuclear safety management system to the operation of nuclear facilities can they ensure the safe operation of nuclear facilities in actual work. Based on this premise, this paper aims to explore the specific application of the nuclear safety management system in the operation process of nuclear facilities, and put forward relevant optimization strategies. It is expected that with the help of such comprehensive training and knowledge management strategies, the quality and efficiency of nuclear facility safety management can be significantly improved, and the possible safety risks can be minimized on the premise of ensuring the long-term steady development of the nuclear energy industry.

Keywords： nuclear safety management system; nuclear facility operation; division of responsibility and power; safety assessment and monitoring; training and knowledge management

引言

核安全管理制度是保证核设施安全运行最主要的保证，它的有效运用及优化对维护公众健康及环境安全具有十分重要的意义。本章将对核设施运行过程中核安全管理制度的运用进行论述，包括责任与权力划分，安全评估与监控，培训及知识管理，国际合作及信息共享，并给出了相关优化策略。

一、将核安全管理制度运用于核设施运行

1. 明确责任与权力划分

核设施安全运行是一项复杂且重要的课题。既涉及严格遵守核安全法规，又需要运营单位构建完整的责任与权力体系以保证对各个环节进行妥善监测与管理。为实现这一目的，运营单位须建立专门的安全管理组织，该组织应配备具有较深专业知识与丰富实践经验的专业安全管理人员，为了确保无论如何安全措施能得到及时有效的落实。

另外，有关部门间职责划分需明确清晰。这将有助于形成责任主体明确，协同配合的安全管理体系。各部门要紧密协作、信

息共享、避免出现职责重叠或者真空地带等问题，形成覆盖运营全过程的安全网络。在面对可能发生的危险时，这一详细而清晰的权力划分有利于快速定位问题所在并采取适当措施以防止其进一步扩展，从而使公众与环境不受可能发生的伤害。

只有经过如此严密的制度设计与实施，才能够保证核设施时刻处于安全之中，在保证人民生命财产安全的前提下，也能够保证国家安全与社会稳定。既是运营单位面临的一次检验，也是各相关方共同承担的一项职责。所以，强化安全管理和提高突发事件处置能力是核电事业可持续发展至关重要。

2. 建立健全安全评估与监测机制

安全评估作为核设施设计和维修的一个重要环节对防止各种

作者简介：袁占锋（1985.10—），男，汉族，河南省郑州市，工程师，大学本科，研究方向：核安全。

事故起着关键作用。在该过程中，要评估者有较深的专业知识，又要运用科学、综合的方法，才能保证评估结果客观准确。评估团队在此过程中须仔细且深入地检讨设施之各环节，包括初期概念设计、竣工后之日常营运、以及最后退役处理，各个环节不可忽视，确保安全措施不漏掉。

除此之外，健全的监测机制是保障核设施运行安全的必要环节。利用尖端的技术工具，如物联网和大数据分析，相关人员能够对核设施的工作状况进行实时的观察和监控。该监控既能及时捕捉异常信号又能快速发现潜在安全问题并采取适当措施解决。正是这些全面的监测和评估机制为核设施的安全保障提供了动态体系，使核设施面临多种环境变化或者技术挑战时能处于可控状态并将风险降至最低。

3. 强化培训与知识管理

就核设施安全管理来说，它所涉及到的不只是一个专业领域，它还是一个综合体系。所以，需要从事相关职业的人在具备坚实的专业知识的同时，还需要具备必要的、持续更新的能力。在此情况下，不断地、深入地培训员工，实施知识管理就显得特别至关重要。

(1) 为确保核安全，必须对从事核设施管理与运行的全体工作人员进行经常性专业培训，经过严格考核以保证其具有必要的专业素质。而培训内容既涉及理论知识又涉及最新安全技术及操作规程，确保职工能了解和遵守最佳实践。(2) 构建高效的知识管理机制，将核设施所采用的安全技术和标准操作程序等重要资料标准化，并以信息化管理手段记录，储存和分享。如此，新员工与资深员工均可随时获取最新知识资源以达到及时转移与有效运用知识之目的。

借助如此全方面的训练与知识管理策略，可显著提升核设施安全管理之品质与效益，在保障核能产业长期稳健发展之前提下，将可能存在之安全风险降至最低。

4. 强化国际合作和信息共享

核能这一清洁高效能源在世界各国发挥着日益显著的作用。但是，与它的巨大潜能同时存在的还有核设施安全所面临的严峻挑战。由于核设施具有敏感性、复杂性等特点，保障核设施安全运行既要依靠先进的安全技术也要依靠国际上的密切合作。

为共同促进全球核设施安全，国家之间必须突破国界限制，并通过构建更完备的信息共享机制及时进行信息交换^[1]。基于这一点，表明发达国家和发展中国家都应积极参加核安全信息共享。这样，该行业才能集各方面之智、集思广益、探索多种可能解决途径、分享各自核设施安全管理中所取得的经验与技术。这种国际合作模式既有利于推动知识与技术的普及，又能加强各国间的相互信任，为全面改善全球核安全打下坚实基础。

在核安全挑战日趋复杂多样的情况下，加强国际合作与信息共享才能更有效地预防潜在风险、保障核材料与设施安全、维护人类社会可持续发展。

二、优化核安全管理制度等策略

1. 强化决策机制

核能领域保守决策的核心地位是不言而喻的，其中要求相关

人员要始终坚持一个不变的思维模式：“如果没有确凿证据表明某一作业具有安全性，则认为其存在潜在隐患”。类似的，把核安全放在最高位置的做法至关重要，因为只要有可能对核安全构成威胁，其结果就会不堪设想。

要达到这一目的，就需要对决策过程进行严格的考察与评价。决策者有必要对每个风险因素进行深入的研究和充分的考虑，从而保证决策过程科学、合理。所以，实际工作过程中对风险的综合分析不仅涉及技术层面，而且还涉及到人，装备，环境及政策法规诸多方面。只有这样综合性考虑才能将人为失误或者外部因素造成的安全隐患降到最低。

2. 完善执行机制

一方面，快速响应机制的设立，决定了对紧急状况要有充分的准备并建立一个迅速、高效的决策过程。在紧急情况下，有关部门及其工作人员应能很快查明问题的实质，根据既定应急计划采取适当措施。这一机制的设立可保证即便是最复杂、最混乱的局势也可得到快速、有效的控制，并将可能造成的破坏降至最低。

另一方面，健全执行机制是确保核设施安全又一重要步骤，其中包括员工行为的标准化管理和操作流程的整体规范化。员工要明确职责范围、了解每个操作步骤后面的安全标准。同时要发挥严格考核机制作用，定期监督考核职工操作行为。这样才有利于保证职工严格按照操作规程办事，以避免发生不必要的差错和意外^[2-3]。

另外，还应注意强化现场管理与应急演练并重，即通过这类活动不断地提高职工实际反应能力及操作水平。应急演练可以模拟出多种可能发生的状况，使职工在无实际压力情况下演练如何正确对待，增强其在实际紧急状况下的绩效^[4]。

3. 引进先进的科技手段

在科学技术突飞猛进的今天，现代科技对核设施安全管理中发挥着越来越大的作用。现阶段大数据、人工智能以及物联网(IoT)等尖端技术的普及度极佳，借助这些先进的技术工具，核设施在安全监控和预警方面的能力会有明显的增强。大数据分析能够揭示潜在风险细微规律，即对数据进行深度挖掘和分析就可以找到平时不容易被人们所觉察的隐患。而人工智能能够预测并防范潜在事故发生，物联网应用为实时监测设施状态提供了可能。这些先进的技术，不仅可以帮助核设施运营者采取及时有效的措施预防灾害，还可以保证问题尚未严重时已得到妥善解决。另外，不断地进行科技研发和创新也是保障核设施安全发展的关键。唯有持续技术升级与更新，核设施才能够保持安全，迎接快速变化的挑战^[5]。

4. 加强监督与执法力度

为了保障公众安全和健康，需要政府采取更严厉的监管措施加强核设施监督管理。该措施的执行，需要有关部门认真对待核设施运营者制定的行为准则，并密切监测这些准则的实施，以保证这些准则始终符合国家有关核能利用与保护环境方面的法律法规与技术标准。于此，应当建立一个完善的监管体系，涵盖从核设施的设计阶段到运行维护，直至设施退役的整个生命周期。设

计阶段对核设施安全性、可行性进行严格检查；监管机构需要保证施工期间的各项施工活动均达到安全与质量标准；运营过程中，需不断对设施性能是否符合预期目标进行监控，及时发现和应对可能出现的各种风险；而且当设施退役时，还要对它进行综合的评价，以保证任何遗留问题都能妥善的解决。

针对对无视法规和不负责任的做法，政府也应该毫不迟疑地执法。加大违规处罚力度能有效抑制违法行为，产生较强的震慑效应以维护公共利益和社会稳定。这种严格监管既有利于核设施安全性的提升，也能增加公众使用核能源的信心^[6-7]。

5. 促进核安全文化的发展

建设核安全文化，是建设安全，可靠核设施之关键。这不只是一句口号或者概念，更是一项系统性的工程，必须要有切实的行动与不断的努力才能完成。

一是相关人员要致力于加强每一位雇员的安全意识，使其充分认识核安全在确保人类社会福祉和环境保护方面具有重要意义。为此举办多种形式的宣传活动及教育培训课程，深入浅出地把核安全基础知识传递给雇员，以协助雇员确定日常工作中可能出现的安全风险和预防措施^[8]。

二是鼓励全员主动参与安全文化建设。其中包括建设性的建议，个人经验的交流 and 问题的联合解决。通过这种方式，可以形成一种“每个人都对安全抱有关心之心，并参与其中”的文化氛

围，从而提升整个团队的凝聚力和执行力^[9]。

三是核安全文化的评估机制是必不可少的。该机制应包括经常进行审查，并对程序进行反馈改进。通过搜集不同层次的信息与反馈，管理层能够对安全文化在实践中的体现有所认识，并根据这些信息做出必要地调整与优化，以此保证安全文化永远保持活力与适应性，从而迎接环境与挑战的变化^[10]。

总而言之一句话，核安全文化为核事业的健康发展提供了强大的支撑。只有大家把核安全挂在心上、落实到行动中去，核能设施才有可能长期、稳定地运转，人类社会才有可能实现可持续发展。

三、结语

将核安全管理制度运用到核设施运营当中并对其进行优化，是保证核设施能够安全运营的一个重要保证。通过明确权责划分，建立健全安全评估监测机制，强化培训知识管理，强化国际合作信息共享，优化决策机制等、健全执行机制，引进先进科技手段，加大监管执法力度，促进核安全文化建设，才能持续提高核设施安全水平，从而为公众健康与环境安全提供强有力的保障。

参考文献

[1] 李美儒. G公司核安全设备研发项目管理成熟度评价研究 [D]. 北京市: 北京建筑大学, 2022.
[2] 吕玉航, 王铁骊. 核设施运营单位的核应急能力研究 [J]. 价值工程, 2022, 41(23): 29-31.
[3] 刘波. 核电安全生产责任制体系的构建与实践 [J]. 电力安全技术, 2022, 24(10): 6-8.
[4] 鲍馨宇. 电力工程施工现场建设临时用电安全管理制度及安全技术分析 [J]. 水上安全, 2023, (09): 187-189.
[5] 林曙光. 中核建中: “三位一体”的核安全管理制度体系 [J]. 企业管理, 2018, (06): 32-33.
[6] 吕玉航, 邹树梁, 王铁骊. 核设施运营单位的核应急能力评估指标体系构建 [J]. 南华大学学报 (社会科学版), 2018, 19(06): 12-17.
[7] 马新朝. 核电工程安全评级达标与安全管理水平状态的研讨分析 [J]. 建设监理, 2023, (11): 86-89.
[8] 李沐晔. 探讨落实核电安全生产责任制的几点看法 [J]. 科技资讯, 2023, 21(04): 113-116.
[9] 崔健, 肖美伊. 福岛核事故后日本核安全管理制度的变化及启示 [J]. 环境保护, 2015, 43(07): 35-39.
[10] 武慧园, 马曦. 核电厂核技术利用的辐射安全管理 [J]. 辐射防护通讯, 2023, 43(21): 7-12.

发电厂低压电气供配电及设备安全低压电气研究

黄俊龙

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司, 贵州 威宁 553100

摘 要： 本文针对发电厂低压电气供配电及设备安全问题, 从低压电气系统的基本原理、设备选型、安全防护措施等方面进行探讨, 提高发电厂低压电气系统的安全性能, 为我国电力行业的发展提供参考。

关 键 词： 低压电气系统; 设备选型与配置; 安全防护措施

Power Plant Low Voltage Electrical Power Supply and Distribution and Equipment Safety Low-Voltage Electrical Research

Huang Junlong

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., LTD. Weining, Guizhou 553100

Abstract： This paper aims at the problems of low-voltage electrical power supply and distribution and equipment safety in power plants, and discusses the basic principles of low-voltage electrical system, equipment selection, safety protection measures, etc., to improve the safety performance of low-voltage electrical system in power plants, and provide reference for the development of China's power industry.

Keywords： low-voltage electrical system; equipment selection and configuration; safety protection measures

一、低压电气设备选型及配置

(一) 低压配电柜的选型及配置

低压配电柜作为电力系统的核心组件之一, 其作用是分配电能、控制电路以及保护线路和设备。选型时需考虑以下几个关键因素:

(1) 额定电流与电压: 根据系统需求确定配电柜的额定电流和电压等级, 确保设备能在额定条件下稳定运行。

(2) 结构形式: 常见的有固定式、抽出式(抽屉式)等, 抽屉式便于维护和更换, 适用于需要频繁操作的场合。

(3) 防护等级: 根据安装环境选择合适的 IP 防护等级, 如 IP30 适用于一般室内环境, IP54 则适用于潮湿或有尘埃的环境。

(4) 功能需求: 包括测量、计量、保护、控制及信号指示等功能, 根据具体需求配置相应的功能模块。

(5) 品牌与质量: 选择有良好市场口碑、技术成熟、售后服务完善的品牌, 确保设备质量和长期运行可靠性。^[1]

配置时还需注意主母线与分支母线, 根据负载电流大小选择合适的母线截面, 保证载流量满足需求; 断路器与熔断器, 合理配置断路器或熔断器作为短路和过载保护, 确保故障时迅速切断电路; 接地系统, 建立完善的接地系统, 确保设备安全及人员触电防护。^[2]

(二) 低压断路器的选型及配置

低压断路器是电力系统中最重要保护电器之一, 用于在电路发生过载、短路等故障时自动切断电路, 防止故障扩大。选型时需考虑:

(1) 额定电流与分断能力: 根据线路负载电流及预期短路电流选择, 确保断路器能在故障时有效分断。

(2) 脱扣特性: 包括热磁式、电子式等, 根据保护对象选择合适的脱扣曲线, 如 B、C、D 型曲线分别适用于不同的负载类型。^[3]

(3) 辅助功能: 如欠电压保护、辅助触点、报警触点等, 根据实际需求配置。

(4) 通信接口: 对于智能电网或需要远程监控系统, 选择带通信接口的断路器, 便于集成至自动化系统中。

配置时应确保断路器之间的选择性配合, 即上一级断路器应在下一级断路器动作之前不动作, 以避免不必要的停电范围扩大。

(三) 低压电缆的选型及敷设

低压电缆作为电能传输的媒介, 其选型直接影响系统的安全性和效率。

(1) 导体材料: 通常为铜或铝, 铜导体导电性好、耐腐蚀, 但成本较高; 铝导体成本较低, 但导电性和耐腐蚀性稍逊。

(2) 绝缘材料: 根据使用环境和电压等级选择, 如 PVC、XLPE(交联聚乙烯)等。^[4]

(3) 护套材料: 提供额外的机械保护和防潮功能, 常见的有 PVC、PE 等。

(4) 额定电压与电流: 确保电缆的额定电压不低于系统电压, 载流量满足负载需求。

敷设时路径选择尽量避开热源、潮湿区域及易受机械损伤的地方, 保持电缆路径最短; 支撑与固定采用合适的电缆桥架、电

缆沟或直埋方式，确保电缆固定可靠，避免过度弯曲；防火与阻燃在特定区域使用防火电缆或采取防火措施，如设置防火隔板、涂刷防火涂料等。接地与屏蔽根据需要设置接地线，对于易受干扰的信号电缆，采用屏蔽层提高抗干扰能力。^[5]

（四）低压保护电器的选型及配置

低压保护电器包括剩余电流保护器（RCD）、过载继电器、欠电压保护器等，用于防止电击事故、保护线路和设备免受损坏。

（1）保护类型与等级：根据应用场景选择合适的保护类型，如 RCD 用于防止电击，过载继电器用于过载保护。

（2）动作特性：如 RCD 的动作电流和动作时间，应满足国家标准及具体使用要求。

（3）协调性：保护电器之间应有良好的协调性，避免误动作或拒动作。

（4）环境适应性：考虑环境温度、湿度、污染等级等因素，选择适应性强、可靠性高的产品。^[6]

配置时需确保各级保护电器之间的选择性，避免因上一级保护电器动作导致过大的停电范围。定期进行保护电器的校验和维护，确保其性能可靠。

二、低压电气系统安全防护措施

（一）防触电措施

触电事故是电气系统中最常见的安全事故之一，其后果往往十分严重。采取有效的防触电措施至关重要。绝缘措施是防止电流直接通过人体或设备外壳流向大地的关键手段。所有带电部件都应有良好的绝缘层，且绝缘材料的性能应符合相关标准。在潮湿、腐蚀等恶劣环境下，应选用加强型绝缘材料。定期对绝缘材料进行检查和测试，确保其性能良好。接地措施是将电气设备的金属外壳或其他导电部分与大地连接，以形成电气通路，从而防止触电和电气火灾。接地系统应设计合理，接地电阻应符合规定值。对于重要设备，还应设置双重接地或等电位联结，以提高接地可靠性。接地线应选用耐腐蚀、导电性能好的材料，并定期检查和维修。防护罩及安全警示标志，对于裸露的带电部件，应安装防护罩或遮栏，以防止人员直接接触。在电气设备的醒目位置设置安全警示标志，提醒人员注意电气安全。这些标志应清晰、易懂，并符合国家标准。^[7]

（二）防短路措施

短路是电气系统中常见的故障之一，它会导致电流急剧增大，可能引发火灾或设备损坏。因此采取有效的防短路措施至关重要。短路电流计算，在设计电气系统时，应根据系统的结构、参数及运行环境，进行短路电流计算。这有助于确定短路保护装置的动作电流和动作时间，从而确保在短路故障发生时，保护装置能够迅速、准确地切断电路。

短路保护装置的配置是防止短路故障扩大的重要设备。它应根据系统的实际情况进行配置，包括熔断器、断路器等。这些保护装置的动作电流和动作时间应经过精确计算，以确保在短路故障

发生时，能够迅速切断电路，防止故障扩大。定期对保护装置进行检查和测试，确保其性能良好。^[8]

（三）防过电压措施

过电压是指电气系统中出现的超过额定电压的电压值，它可能由雷电、操作过电压等因素引起。过电压会对电气设备造成损坏，甚至引发火灾。过电压保护设备的选择是防止过电压对电气设备造成损坏的关键设备。它应根据系统的实际情况进行选择，包括避雷器、过电压抑制器等。这些保护设备应具有良好的过电压吸收能力和耐受能力，以确保在过电压故障发生时，能够迅速、有效地保护电气设备。避雷器的配置是防止雷电过电压对电气设备造成损坏的重要设备。它应根据系统的实际情况进行配置，包括安装在架空线路、变压器、开关设备等关键部位的避雷器。这些避雷器应具有良好的防雷性能，能够迅速、有效地吸收雷电过电压，保护电气设备免受损坏。定期对避雷器进行检查和测试，确保其性能良好。

（四）防火灾措施

电气火灾是电气系统中常见的安全事故之一，它可能由短路、过载、接触不良等因素引起。电缆敷设及防火隔离是电气系统中传输电能的重要部件。在电缆敷设时，应遵循相关规范，确保电缆的弯曲半径、敷设间距等符合规定。在电缆通道、电缆井等关键部位设置防火隔离措施，如防火隔板、防火涂料等，以阻止火灾蔓延。定期对电缆进行检查和维护，确保其处于良好状态。火灾自动报警系统的设置是及时发现和扑灭火灾的重要设备。它应根据系统的实际情况进行设置，包括探测器、报警控制器、灭火装置等。这些设备应具有良好的灵敏度和可靠性，能够迅速、准确地发现火灾并启动灭火装置。定期对火灾自动报警系统进行检查和测试，确保其性能良好。除了采取上述技术措施外，还应加强人员培训和管理。定期对电气系统操作人员进行安全教育和技能培训，提高他们的安全意识和操作技能。建立健全的安全管理制度和操作规程，确保电气系统的安全运行。^[9]

三、低压电气设备维护与管理

（一）设备日常巡检与维护

日常巡检与维护是预防设备故障、保持设备良好状态的基础工作。

巡检内容标准化，制定详细的巡检计划，明确巡检项目、周期和方法。巡检内容应涵盖设备外观、运行状态、运行环境等多个方面，如检查设备是否有异常声响、振动，接线是否松动，绝缘是否完好，以及运行环境是否整洁、温湿度是否适宜等。巡检记录与分析，每次巡检后，应详细记录巡检结果，包括发现的问题、处理措施及效果等。通过定期分析巡检记录，可以及时发现设备性能变化的趋势，为预防性维护提供依据。预防性维护，根据设备的使用情况、制造商建议及行业标准，制定预防性维护计划。维护内容可能包括清洁、紧固、润滑、调试等，消除潜在故障隐患，保持设备处于最佳工作状态。专业培训，对巡检人员进行定期培训，提升其专业技能和巡检效率。培训内容应涵盖设备

原理、操作规范、安全知识及故障诊断方法等。

（二）设备故障处理与应急预案

设备故障处理及时有效，能最大限度地减少故障对生产的影响。

故障快速响应机制，建立故障报告与响应流程，确保故障信息能够迅速传递至相关部门和人员。设立24小时值班制度，确保任何时间都能对故障进行及时响应。故障诊断与排除，依托专业技术人员，利用专业工具和设备，对故障进行准确诊断。根据诊断结果，制定并实施故障修复方案，确保故障得到彻底排除。故障分析与预防，故障修复后，应组织相关人员对故障原因进行深入分析，总结经验教训，提出改进措施。将故障案例纳入培训材料，提升全员故障预防意识。应急预案制定与演练，针对可能发生的重大设备故障，制定详细的应急预案。预案应明确应急组织架构、职责分工、应急资源及处置流程。定期组织应急预案演练，检验预案的有效性和可操作性，提高应急响应能力。^[10]

（三）设备更新改造及淘汰制度

随着技术的不断进步，适时更新改造或淘汰老旧设备，对于提升生产效率、保障安全具有重要意义。设备评估与规划，定期对设备进行性能评估，结合生产需求、技术进步及成本效益分析，制定设备更新改造或淘汰的长期规划。更新改造策略，对于技术落后、能耗高、维护成本高的设备，优先考虑进行技术改造或升级。改造内容可能包括提升自动化水平、优化控制逻辑、更

换高效节能部件等。确保改造后的设备符合现行安全标准和环保要求。淘汰机制，对于无法通过改造达到安全、环保或能效标准的设备，应制定明确的淘汰计划。淘汰过程中，应妥善处理废旧设备，避免造成环境污染。做好新设备的选型与采购工作，确保新旧设备无缝衔接。技术档案管理，建立完善的设备技术档案，记录设备的购置、安装、调试、运行、维护、改造及淘汰的全过程信息。这有助于跟踪设备性能变化，为未来的设备选型与管理提供数据支持。

四、结论

合理的低压电气设备选型及配置对于保障发电厂低压电气系统的安全运行至关重要。通过精确计算和精心设计，成功确保了低压配电柜、断路器、电缆和保护电器的性能满足系统需求。有效的安全防护措施大大降低了发电厂低压电气系统的事故风险，为电力生产提供了稳定的环境。加强低压电气设备的维护与管理，有助于延长设备使用寿命，降低故障率，从而提高发电厂的整体运营效率。本文的研究成果为发电厂低压电气系统的优化提供了理论依据和实践指导，对于推动我国电力行业的技术进步和安全发展具有重要意义。未来还需不断探索新技术、新方法，以进一步提升发电厂低压电气系统的安全性能和运行水平。

参考文献

- [1] 张静, 陆通通. 火力发电厂低压电气配电及设备安全运行措施 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(35): 137-140.
- [2] 陈冬平. 低压电气配电与设备的安全管理探讨 [J]. 中国高新技术企业, 2016(19): 187-188.
- [3] 张玉, 梁妍. 低压电气供配电设备运行故障及维护措施的研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(03): 280-282.
- [4] 王森. 火力发电厂低压电气供配电和设备安全运行分析 [J]. 科技创新导报, 2019, 16(21): 194-195.
- [5] 赵丽芳. 低压电气供配电及其设备安全管理 [J]. 中国设备工程, 2020(19): 63-64.
- [6] 杨东华. 低压电气供配电与设备的安全管理探讨 [J]. 中国高新技术企业, 2015(18): 136-137.
- [7] 郑立彬. 发电厂低压电气供配电系统的运行管理 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(5): 164-165.
- [8] 岳恒. 低压电气供配电及设备安全管理技术方法研究 [J]. 石河子科技, 2022(4): 26-27.
- [9] 胡健. 低压电气供配电及设备安全低压电气研究 [J]. 电子制作, 2014(13): 239-240.
- [10] 周艺. 浅谈火力发电厂电气设计中低压配电接线安全性 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2022(33): 10-12.

