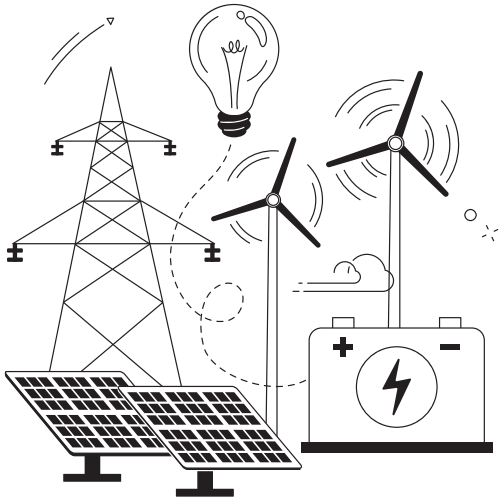
电力技术与安全管理

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

ART AND DESIGN PRESS INC
(United States)

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.

目录 CONTENTS

电力技术与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management

第1卷 第6期　2024年9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：

1. 作者将论文的的复制权、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。
2. 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。
3. 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。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 作者所投本刊稿件，本刊编辑部拥有修改权。

电力工程 | POWER ENGINEERING

005 **电厂水处理设备销售中的技术推广与客户关系管理研究** **白炎青**
Research on technology promotion and customer relationship management in the sales of power plant water treatment equipment Bai Yanqing

008 **电力行业先进电子产品开发中的人工智能应用** **来彩玲，苏康，李鹏飞，王楷**
Application of artificial intelligence in the development of advanced electronic products in the power industry Lai Cailing, Su Kang, Li Pengfei, Wang Kai

011 **电力工程安装施工中的质量控制策略探讨** **张青**
Discussion on the quality control strategy in electric power engineering installation and construction Zhang Qing

014 **电力施工中的智能化技术应用与发展研究** **李良龙**
Research on the application and development of intelligent technology in power construction Li Lianglong

017 **#1–#4炉锅炉炉底渣斗水封槽改造** **闫浩文**
#1-#4 Boiler bottom slag bucket water seal tank renovation Yan Haowen

020 **大型风电场发电运行提质增效技术分析** **莫国考**
Technical analysis on improving quality and efficiency of large-scale wind farm operation Mo Guokao

023 **化学运行在国电投火电厂环保减排中的作用研究** **马军，王依林**
Research on the role of chemical operation in environmental protection and emission reduction of Guodian Thermal power Plant Ma Jun, Wang Yilin

026 **新能源发展与节能降碳的协同关系探究** **苏天庆**
Exploring the synergistic relationship between new energy development and energy saving and carbon reduction Su Tianqing

029 **数字化转型背景下火电项目安全管理的挑战与机遇** **张杰**
Challenges and opportunities for safety management of thermal power projects in the context of digital transformation Zhang Jie

032 **浅谈以可靠性为中心的火电基建期管理** **常世鹏**
Discussion on reliability-centered management of thermal power infrastructure period Chang Shipeng

036 **电力工程物资供应链优化与管理实践** **马亮**
Power engineering materials supply chain optimization and management practice Ma Liang

039 **国电投火电厂化学除盐设备运行效果分析** **王依林，马军**
Analysis of operation effect of chemical desalination equipment in Guodian Power Investment Thermal power Plant Wang Yilin , Ma Jun

042 **汽车运煤煤质管理技术研究与应用** **牛国栋**
Research and application of coal quality management technology for automobile coal transportation Niu Guodong

046 **分布式能源与微电网发展对电网建设方向的影响分析** **朱鹏英，段冲**
Analysis on the influence of distributed energy and microgrid development on power grid construction direction Zhu Pengying, Duan Chong

049 **核电站仪控领域技能人才培养的研究与思考** **赵博**
Research and thinking on the training of skilled talents in the field of instrument and control of nuclear power plant Zhao Bo

052 大数据在供电营销电费核算中的应用实践 郝明霞
The application practice of big data in electricity pricing for power supply marketing Hao Mingxia

055 基于碳化硅技术的双向 PCS 设计分析 樊聪亮
Analysis of bidirectional PCS design based on silicon carbide technology Fan Congliang

电力系统 | POWER SYSTEM

058 火电厂燃料消耗的深度学习预测与能效提升路径探索 吴韬
Deep learning prediction of fuel consumption in thermal power plants and exploration of energy efficiency improvement path Wu Tao

061 热电厂热控专业自动化系统的优化策略研究 樊权乐，李振鑫，李建伟
Research on the optimization strategy of thermal control professional automation system in thermal power plant Fan Quanle, Li Zhenxin, Li Jianwei

064 智能电网技术在电力系统中的应用 王浩然，党佳乐，管少璞，李成辉
Application of smart grid technology in power systems Wang Haoran, Dang Jiale, Guan Shaopu, Li Chenghui

067 基于 MATLAB的电梯系统 S 曲线优化研究 李超，李自成，张倬精，周天浩，温修林
Study on the S-curve optimization of the elevator system based on MATLAB Li Chao, Li Zicheng, Zhang Zhuojing, Zhou Tianhao, Wen Xiulin

071 智能监控技术在 10 千伏箱式变电站中的应用分析 王安琪
Application analysis of smart monitoring technology in 10kV box-type substation Wang Anqi

074 火电厂锅炉系统安全性分析与评估方法研究 刘扬
Study on the safety analysis and evaluation method of boiler system in thermal power plant Liu Yang

077 输变电线路施工技术在电网建设中的应用 纪鑫
Application of transmission and transformation line construction technology in power grid construction Ji Xin

080 基于变电站二次回路三维可视化技术研究 李志敏，朱育熹
Research on 3D visualization technology of secondary circuit in substation Li Zhimin, Zhu Yuxi

083 双机回热系统在 1000MW 超超临界燃煤机组中的构建及分析 梁岩
Optimization of Double-turbine Regeneration System in 1000MW Ultra-supercritical Double – reheat Unit Liang Yan

086 超高压输电线路电磁环境影响评估与优化措施 俱永森，冯燕军，曹喆
Electromagnetic environmental impact assessment and optimization measures of ultra-high voltage transmission lines Ju Yongsen, Feng Yanjun, Cao Zhe

089 智能电网中分布式电源的优化接入与控制策略 李全成
Optimal access and control strategy of distributed power sources in smart grids Li Quancheng

092 变频串联谐振耐压技术在供配电系统中的应用 刘奉军，陈文胜
Application of variable frequency series resonance withstand voltage technology in power supply and distribution system Liu Fengjun, Chen Wensheng

095 电力基建施工现场安全管控系统的应用策略 殷陆明
Application strategies of safety control system in electric power infrastructure construction site Yin Luming

检修技术 | MAINTENANCE TECHNOLOGY

098 导水机构性能评估与检修策略优化在水轮机维护中的应用 马凯
Application of performance evaluation and maintenance strategy optimization of water guide mechanism in water turbine maintenance Ma Kai

101 水轮机转轮不平衡故障的诊断与检修流程优化 杨合
Optimization of the diagnosis and maintenance process of the turbine runner unbalanced fault Yang He

104 水轮机转轮检修中的裂纹检测与修复技术研究 袁飞
Research on crack detection and repair technology in the maintenance of water turbine runner Yuan Fei

107 国产设备在核电厂运行情况及故障分析 郭杰
Operation situation and fault analysis of domestic equipment in nuclear power plants Guo Jie

110 电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对措施 张凇滔
Common faults and countermeasures of oil system in the maintenance of steam turbine in power plant Zhang Songtao

电厂水处理设备销售中的技术推广与客户关系管理研究

白炎青

华电水务工程有限公司，北京 100160

摘　　要： 电厂水处理设备是保障电厂安全稳定运行的关键设施，其水处理设备性能直接影响电厂的生产效率和经济效益，其销售涉及技术推广、客户关系管理等多个层面，关系到电厂的长期效益、设备供应商的市场竞争力以及双方的合作共赢。本文旨在深入探讨电厂水处理设备销售中的技术推广与客户关系管理策略，分析创新技术方案、客户需求挖掘、客户忠诚度计划等方面的有效措施，为优化电厂水处理设备销售提供有益参考，以促进电厂与设备供应商的长期合作共赢。

关 键 词： 电厂水处理设备；销售推广；客户关系管理；管理措施

Research on technology promotion and customer relationship management in the sales of power plant water treatment equipment

Bai Yanqing

Huadian Water Engineering Co., Ltd. Beijing 100160

Abstract: Water treatment equipment in power plants is a key facility to ensure the safe and stable operation of power plants. The performance of its water treatment equipment directly affects the production efficiency and economic benefits of power plants. Its sales involve multiple levels such as technology promotion and customer relationship management, which are related to the long-term benefits of power plants, the market competitiveness of equipment suppliers, and the win-win cooperation between both parties. This article aims to explore in depth the technology promotion and customer relationship management strategies in the sales of water treatment equipment in power plants, analyze effective measures in innovative technology solutions, customer demand mining, customer loyalty programs, etc., provide useful references for optimizing the sales of water treatment equipment in power plants, and promote long-term cooperation and win-win results between power plants and equipment suppliers.

Keywords: power plant water treatment equipment; sales promotion; customer relationship management; management measures

引言

电厂水处理设备销售不仅仅是一次性的交易，更是一个涉及技术推广、需求挖掘、关系维护的长期过程。设备供应商需要通过创新的技术方案满足电厂的多样化需求，通过深入细致的客户关系管理增强客户黏性[1]。因此，深入探讨电厂水处理设备销售中的技术推广和客户关系管理策略，对于提升设备供应商的市场竞争力，实现与电厂客户的合作共赢具有重要意义。

一、电厂水处理设备销售中的技术推广对策

（一）技术培训与支持，提升客户信任

在电厂水处理设备的销售过程中，技术推广不仅仅是向客户传递设备使用技巧，更是一种通过技术创新和应用展示来提升设备吸引力的策略。通过有效的技术推广，销售方能够让客户深刻理解设备的核心技术优势，增强客户对设备的信任，从而推动销售的成功[2]。

例如，在电厂水处理设备的销售中，技术推广应着重于展示设备在不同水质条件下的适应性和优化效果。假设电厂遇到水质波动大这一难题时，设备能否保持稳定运行并灵活调节成为客户最为关切的问题。销售团队在推介产品时，除了要详细介绍设备的基本功能之外，更需要用技术数据和真实的案例来说明设备如何能够根据水质条件的变化自动调整运行参数，从而始终确保水处理效果的稳定性。

在技术推广过程中，除了口头介绍之外，还可以采用产品对比和现场展示等方式，让客户切身体验设备的技术优势。比如，可以在客户现场安排设备试运行，直接展示其在实际水处理过程

作者简介：白炎青（1984.01-），女，汉族，山西大同人，研究生，中级职称，研究方向：电厂水处理市场销售。

中的优异表现。通过这种现场演示，客户可以亲眼看到设备的高效运转、节能效果以及维护的便利性，从而更加直观地认识到产品的优势所在。

（二）创新技术解决方案，满足客户多样化需求

在电厂水处理设备的销售过程中，技术推广的核心目标是通过创新技术方案满足客户多样化的需求。随着电力行业对环保要求的提升以及水处理技术的不断发展，客户对水处理设备的需求不再仅限于传统的功能和性能，更期望设备能适应复杂多变的运营环境，提供高效、节能、灵活的解决方案[3]。销售人员通过深入挖掘客户的实际需求，结合先进的技术手段，设计出符合客户需求的定制化解决方案，能够有效推动设备销售并增强客户黏性。

例如，针对客户电厂锅炉给水的 pH 值和电导率波动较大的问题，销售人员可以向客户重点推荐基于在线离子色谱技术的智能加药控制系统。通过在线实时监测锅炉给水的 pH 值、电导率、阴阳离子浓度等关键指标，结合专家经验数据库和智能算法，实现药剂投加量的精确调节和优化，这不仅可以有效稳定水质，降低设备腐蚀和结垢风险，还可以减少药剂消耗，节约运营成本[4]。销售人员可以通过现场试用或投资回报分析等方式，让客户切身感受到该系统的优越性能和经济效益，消除客户对新技术的疑虑和顾虑。

针对滤池反洗效果差、滤料损耗大等问题，销售人员可以向客户推荐新型高效纤维球滤料，其比表面积大、吸附容量高、反洗周期长，可大幅提升滤池运行效率和滤料使用寿命，降低反洗用水量和频次。销售人员可以通过客户现场小试或第三方权威机构的测试数据，充分展示新滤料的技术优势和应用效果，让客户对新技术产生兴趣和信心。同时，销售人员还可以为客户提供滤料性能对比分析、配套改造方案等深度服务，切实帮助客户实现滤池的优化升级，建立长期互利的合作关系。

二、电厂水处理设备销售中与客户关系管理对策

（一）建立客户档案，精准把握客户需求

在电厂水处理设备销售中，精准把握客户需求的关键在于建立完善的客户档案。销售团队需要全面收集和深入分析客户的各项信息，从而真正洞悉客户的实际需求，制定出更加个性化和有针对性的销售策略。基于客户档案的销售方式能够帮助销售人员准确识别客户当前面临的问题，预测客户未来可能出现的需求变化，进而实现精准的产品推介和高效的服务[5]。建立客户档案不是一蹴而就的，而是需要贯穿于销售的每一个环节，从初次接触到建立长期合作关系，都需要持续不断地细化和完善客户信息，以确保数据的时效性和准确性，为精准销售提供坚实的基础。

在建立客户档案的过程中，销售人员需要重点关注以下几个方面：一是客户的基本信息，包括电厂的地理位置、装机容量、发电工艺、水源水质等，这些信息有助于销售人员全面了解客户的业务规模和技术特点，为后续的设备选型和方案设计提供参考；二是客户的组织架构和决策流程，包括电厂的股权结构、管理层级、采购决策权限等，这些信息有助于销售人员明确客户的关键决策者和影响者，有针对性地开展营销沟通和关系维护[6]；三是客户的技术需求和痛点，包括电厂现有水处理设备的运行状况、存在的问题、改进的方向等，这些信息是销售人员识别客户需求、提供针对性解决方案的关键；四是客户的商务需求和预算，包括电厂的采购计划、预算规模、商务条件等，这些信息有助于销售人员制定合理的价格策略和商务方案，提高成交的可能性。

在客户档案的建立过程中，销售人员要注重信息的全面性、准确性和时效性。一方面，要通过多种渠道收集客户信息，如公开资料搜索、实地考察、客户拜访、业内交流等，力求全面系统地掌握客户情况；另一方面，要对收集到的信息进行认真核实和甄别，剔除不准确、不真实的信息，确保档案内容的可靠性；同时，还要建立档案定期更新机制，及时补充和更新客户动态信息，特别是客户需求变化的信息，确保档案始终处于最新状态[7]。

（二）定期回访与沟通，保持长期联系

定期回访与沟通，保持长期联系是电厂水处理设备销售中客户关系管理的重要策略。销售人员应该树立“售前、售中、售后一条龙”的服务理念，充分认识到客户关系管理的重要性。电厂水处理设备销售周期较长，涉及的技术细节繁多，客户需要长期的技术支持与服务。因此，销售人员应该与客户保持密切的沟通，及时了解客户的需求变化，解答客户的技术难题，提供优质的售后服务，从而赢得客户的信赖与支持。

为了更好地开展客户回访与沟通工作，销售人员应该制定周密的回访计划，根据不同客户的特点，采取灵活多样的回访方式。对于新签约的客户，可以在设备安装调试完成后的一个月内进行首次回访，了解设备运行情况，征询客户意见；对于设备已经稳定运行的老客户，可以每季度或每半年进行一次例行回访，及时掌握设备的运行数据和维护保养情况，提供必要的技术指导和服务支持。在回访过程中，销售人员要认真倾听客户反馈，对客户提出的问题和建议及时跟进处理，让客户感受到公司的重视与关怀。

除了常规的回访活动外，销售人员还应该主动与客户保持日常联系，通过电话、邮件、微信等方式与客户进行沟通交流，了解客户的最新动态和需求变化。针对客户反映的技术问题，销售人员要协调公司内部的技术资源，组织专业人员及时提供解决方案，必要时可以派遣技术人员到现场进行诊断和处置[8]。同时，销售人员还要定期向客户传递公司的最新产品信息和技术资讯，介绍水处理行业的发展动向和前沿技术，帮助客户全面了解公司的产品体系和服务能力，巩固双方的合作基础。

在与客户的长期互动中，销售人员还要注重人际关系的维护，通过真诚、专业、贴心的服务，与客户建立起良好的个人关系和情感纽带。可以在节日或客户生日时送上问候和祝福，表达公司对客户的关心和重视；可以不定期地拜访客户，与客户面对面交流，增进彼此的了解和信任；可以适时邀请客户来公司参观考察，让客户全面了解公司的实力和文化，增强客户对公司的认

同感和归属感。

总之，定期回访与沟通，保持长期联系是电厂水处理设备销售中客户关系管理的重要举措。销售人员要立足客户需求，以专业、真诚、贴心的服务态度，与客户建立起密切的沟通联系，时刻把握客户动态，及时解决客户问题，为客户创造更大价值，从而赢得客户的长期信赖和支持，为公司的市场拓展和业务发展提供强大动力[9]。只有坚持以客户为中心，切实履行客户关系管理职责，才能在激烈的市场竞争中赢得先机，实现销售业绩的持续增长。

（三）客户忠诚度计划，激励长期合作

随着电力行业市场的逐渐成熟和竞争的加剧，客户的需求和期望不断发生变化，单纯依靠一次性销售已无法确保企业的长期发展。因此，企业需要通过制定个性化的计划，奖励客户的持续购买，通过多维度的服务来深化合作关系。

电厂水处理设备供应商在设计客户忠诚度计划时，要充分考虑电厂客户的行业特点和实际需求，制定切实可行的方案和措施。一方面，要根据客户的采购规模、合作年限、信用等级等因素，对客户进行分类和分级，针对不同类型和级别的客户，提供差异化的服务项目和优惠力度，让客户切实感受到供应商的重视和尊重。另一方面，电厂水处理设备供应商还应把握客户设备使用中的关键节点和潜在需求，前瞻性地满足客户可能产生的各类需求，让客户享受到无微不至、面面俱到的服务[10]。设备安装调试阶段是一个关键时期，供应商需要委派经验丰富的工程技术人员常驻现场，手把手地传授设备安装调试要领，确保设备实现最佳性能；在设备初期运行阶段，供应商更应该通过开通全天候技术服务热线等方式，第一时间响应客户各类技术问题；设备进入大修或技术升级改造期的时候，供应商则要为客户量身定制先进合理的技术改造方案，并提供配套的一揽子服务，助力客户实现设备性能的提升换代；面对客户对于备品备件和易耗品采购的需求，供应商要甄选品质卓越的产品，确保设备始终以最佳状态稳定运转。这些贯穿设备全生命周期管理的大小细节，无一不体现着供应商对客户需求的深切洞察与及时响应，由此传递出“与客户荣辱与共，时刻在您身边”的服务理念。

三、结束语

电厂水处理设备销售是一个系统工程，涉及技术、营销、服务等多个环节。设备供应商要立足客户需求，以创新的技术方案和优质的服务为核心，构建与客户的长期合作关系。通过技术培训、现场演示等方式进行有效的技术推广，用定制化的解决方案满足客户的多样化需求。同时，建立完善的客户档案，通过定期回访与沟通保持与客户的紧密联系，以客户忠诚度计划激励客户的长期合作。只有在技术创新和客户服务上持续用力，设备供应商才能在竞争激烈的市场中脱颖而出，实现自身的长远发展，并与电厂客户携手共创美好未来。

参考文献：

[1] 张慧娥，莫润锦．电厂化学水处理技术及设备的选择［J］．河南科技，2014(8X):34.

[2] 贾文豪．电厂化学水处理设备的防腐工艺［J］．数码－移动生活，2023(6):341.

[3] 方颖斐．电厂化学水处理设备腐蚀问题处理措施探讨［J］．山西化工，2023，43(7):69-71.

[4] 张辉．环保水处理设备制造商的大客户经营策略研究——以天元康宇公司为例［D］．津：南开大学，2010.

[5] 张金玲．郑州市Z公司农村污水处理设备市场营销策略优化研究［D］．河南：郑州大学，2023.

[6] 杜艳冰．DL公司污水处理项目运营管理研究［D］．新疆：石河子大学，2019.

[7] 杨荣军．PLC技术下污水处理站管控智能生产平台分析［J］．设备管理与维修，2023(17):151-153.

[8] 张鹏．专利临时保护期内获得的产品后续使用时的专利权用尽——深圳市斯瑞曼精细化工有限公司诉深圳市坑梓自来水有限公司、深圳市康泰蓝水处理设备有限公司侵害发明专利权纠纷案［J］．中国发明与专利，2018，15(7):113-115.

[9] 马骏．董知非．设备采购应综合考量产品性能与售后服务［J］．汽车维修与保养，2012(12):72-72.

[10] 蔡谊冰，张漫，代铁辉．代铁辉：倾听消费者声音 以优质服务打动人心［J］．中国商人，2023(5):36-37.

电力行业先进电子产品开发中的人工智能应用

来彩玲，苏康，李鹏飞，王楷
陕西公众智能科技有限公司，陕西 西安 710000

摘　　要： 随着科技的快速发展，人工智能已成为推动电力行业创新与变革的主要力量，而在电力行业中，相关的电子产品质量好坏，直接关系到电力设备运行的情况。因此，深入分析人工智能在电力电子产品设计、优化、测试及故障预测等方面的应用，能够为电力行业电子产品的开发提供必要的参考借鉴，从而进一步推动电力行业的发展，以此更好地满足人们的生活、工作需求。

关 键 词： 电力行业；电子产品开发；人工智能

Application of artificial intelligence in the development of advanced electronic products in the power industry

Lai Cailing, Su Kang, Li Pengfei, Wang Kai
Shaanxi Public Intelligent Technology Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: With the rapid development of science and technology, artificial intelligence has become the main force to promote the innovation and change of the power industry, and in the power industry, the quality of related electronic products is directly related to the operation of power equipment. Therefore, in-depth analysis of the application of artificial intelligence in the design, optimization, testing and fault prediction can provide necessary reference for the development of electronic products in the power industry, so as to further promote the development of the power industry, so as to better meet people's life and work needs.

Keywords: electric power industry; electronic product development; artificial intelligence

在电力行业中，先进电子产品的开发对于提高电网效率、优化资源配置以及保障电力供应的稳定性具有重要意义。但传统的设计方法往往存在周期长、成本高以及难以应对复杂多变环境等问题。近年来，人工智能技术的快速发展为解决这些问题提供了新的思路。人工智能技术以其强大的数据处理能力、自我学习及优化能力，在电力电子产品开发中展现出了巨大的应用潜力。本文旨在探讨人工智能在电力行业先进电子产品开发中的应用探索，以期为电力行业的智能化发展提供参考借鉴。

一、电力行业电子产品的主要类型

（一）智能电网设备

智能电网设备是现代电力系统的核心组成部分，通过集成先进的通信技术、信息技术和控制技术，可实现电力系统的智能化管理和优化运行。这类设备包括但不限于智能电表、智能电网传感器、智能变电站自动化系统等，智能电表能够实时监测和记录用户的用电情况，为电力公司提供精确的计费数据和负荷管理信息[1]。智能电网传感器则能够实时监测电力系统的运行状态，及时发现潜在故障，智能变电站自动化系统则能够实现对变电站设备的远程监控和控制，提高变电站的运行效率和安全性。

（二）电力监控与保护设备

电力监控与保护设备是确保电力系统稳定运行和安全运行的重要工具，这类设备主要包括电力监控系统、继电保护装置和故障录波器等。电力监控系统能够实时监测电力系统的各项参数，如电压、电流、频率等，及时发现和处理异常情况；继电保护装置则能够在电力系统发生故障时迅速切断故障点，防止故障扩散，保护电力设备和用户的安全[2]。故障录波器则能够记录电力系统故障过程中的各种参数变化，为故障分析和处理提供重要依据。

（三）新能源发电与储能设备

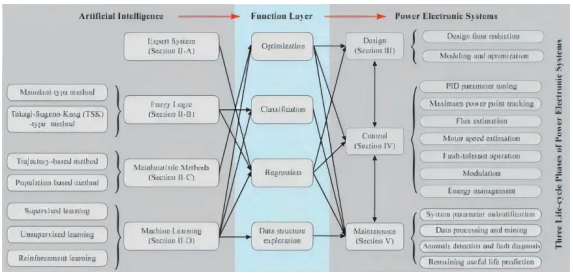
随着全球能源结构的转型和可持续发展理念下，新能源发电与储能设备在电力行业中的应用越来越广泛。这类设备主要包括风力发电设备、太阳能光伏发电设备、储能电池系统以及新能源汽车充电桩等。风力发电设备和太阳能光伏发电设备利用可再生能源进行发电，减少了对化石能源的依赖，储能电池系统则能够储存电能，在电力需求高峰时释放电能，平衡电力供需[3]。新能源汽车充电桩则为电动汽车提供充电服务，促进了新能源汽车的

作者简介：来彩玲（1988.09-），女，汉族，陕西省南郑县人，大学本科 中级工程师，研究方向：电子产品开发。

普及和发展。

二、人工智能在电力电子中的功能和方法

如图1所示，为人工智能在电力电子系统中的方法和功能，而人工智能在电力电子系统中的基本功能则为优化、分类、回归以及数据结构探索。



> 图1：人工智能在电力电子系统中的方法与功能

（一）优化流程

优化流程的目标是在特定约束条件下，从众多候选方案中找出能使目标函数达到最优（最大或最小值）的最佳解决方案[4]。例如，在设计项目中，优化流程可以帮助我们找到符合所有设计要求的参数组合，以实现设计目标的最大化或最小化。

（二）分类分析

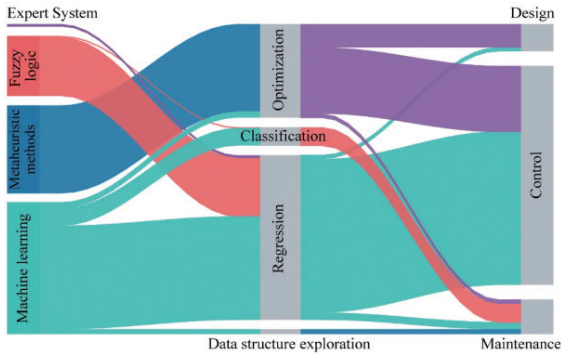
分类分析专注于将输入的信息或数据集分配到预定义的多个类别之中，一个典型的例子是在维护操作中的异常检测与故障诊断，根据状态监测数据来确定故障的具体类型。

（三）预测建模

预测建模的核心是识别输入变量和目标变量之间的关系，从而预测一个或多个连续型目标变量的值。比如，智能控制器可以通过构建输入电信号与输出控制变量之间的预测模型，来准确地执行其控制功能。

（四）数据结构探索

数据结构探索包括了聚类分析、密度估计和数据压缩技术等方面。聚类分析用于发现数据集中具有相似特征的数据点群组；密度估计用来描述数据在输入空间中的分布情况；而数据压缩则是通过降低维度，将高维数据映射到低维空间，以减少特征的数量[5]。在维护领域，设备退化状态的聚类分析即为数据结构探索的应用实例之一。如图2所示，为人工智能方法在电力电子系统生命周期各阶段的应用统计情况。



> 图2：电力电子系统生命周期各阶段人工智能方法应用图

三、人工智能技术在电力行业电子产品开发中的应用

（一）人工智能在产品设计中的应用

在电力行业电子产品的设计过程中，人工智能技术能够提供强大的支持，通过深度学习、机器学习等算法，AI能够分析大量的历史数据，识别设计规律，预测用户需求，从而为产品设计提供科学依据。例如，AI可以辅助设计师进行电路布局优化，确保电子产品的性能稳定且功耗低，同时，AI还能在设计初期就识别出潜在的安全隐患，提高产品的可靠性[6]。而智能化设计工具与平台是人工智能技术在电力行业电子产品开发中的直接体现，这些工具和平台利用AI技术，实现了设计流程的自动化和智能化。设计师可通过这些工具进行快速原型设计、仿真测试和优化迭代，大幅度提高了设计效率，此外，智能化设计平台还能实现跨团队协作，促进设计资源的共享和整合，进一步提升设计质量。在电力行业电子产品开发中，数据是宝贵的资源，人工智能技术能够基于大量的实验数据、用户反馈和市场趋势，进行深度学习和分析，从而发现产品设计的优化点[7]。如AI可以分析产品的功耗、性能、可靠性等关键指标，提出针对性的改进建议，并且，AI还能根据用户的反馈和需求，调整产品的设计方向，确保产品更加符合市场需求。在辅助的创新设计方面，人工智能技术在电力行业电子产品开发中的另一个重要应用是辅助创新设计，借助AI技术，设计师可以突破传统的设计思维，探索新的设计理念和方法。由于AI可以基于深度学习算法，生成全新的电路设计方案，为设计师提供灵感，同时，AI还能通过模拟和仿真，验证新设计的可行性和性能表现，为创新设计提供有力支持。

（二）人工智能在测试与验证中的应用

人工智能技术的应用使得测试与验证过程更加自动化和高效，通过构建自动化测试系统，可实现对电子产品功能的快速、全面测试，减少人工干预，提高测试效率和准确性[8]。而自动化测试系统能够模拟各种实际运行场景，对电子产品进行全面的性能测试，确保其在实际应用中能够稳定运行。基于机器学习的故障预测与诊断时，在电力行业电子产品开发过程中，故障预测与诊断环节至关重要。人工智能技术，特别是机器学习算法，能够通过对大量历史故障数据的学习和分析，建立故障预测模型，这些模型能实时监测电子产品的运行状态，预测潜在的故障，并在故障发生时快速定位故障原因，为维修人员提供准确的故障信息，缩短维修时间，降低维修成本。

同时，在性能评估与优化中，人工智能技术能够实现对电子产品性能的全面评估，通过构建性能评估模型，可以模拟各种运行条件，对电子产品的性能进行预测和分析，这些模型可以综合考虑电子产品的功耗、速度、稳定性等多个方面，为开发人员提供全面的性能评估报告，帮助他们了解产品的性能瓶颈，为优化提供依据。在性能优化方面，人工智能技术可实现对电子产品性能的优化，通过机器学习算法，对电子产品的参数进行智能调整，找到最佳的配置方案，提高产品的性能表现[9]。例如，在智能电网设备中，人工智能技术可优化电力调度策略，提高电力系统的运行效率和稳定性，在新能源发电与储能设备中，人工智能

技术可以优化电池管理策略，延长电池的使用寿命。

（三）人工智能在维护与优化中的应用

人工智能技术在电力行业电子产品开发中的应用不仅限于设计与测试阶段，还深入到了维护与优化阶段，良好的维护优化，能显著提升了电力系统的运行效率与稳定性[10]。首先，在智能运维与故障预警系统中，智能运维系统能够实时监测电力行业电子产品的运行状态，收集并分析海量的系统日志、性能指标、异常告警等数据，通过机器学习算法，系统能够自动识别异常行为，预测潜在故障，并在检测到任何异常迹象时立即触发预警机制。而在故障排查与诊断方面，智能运维系统利用人工智能算法对故障信息进行深度分析，结合知识库中的历史案例和专家经验，快速给出故障诊断结果和修复建议。该过程不仅大幅度缩短了故障排查的时间，还提高了诊断的准确率，有效避免了故障对电力系统的影响。在自动化处理与恢复阶段，智能运维系统还能够根据预设的规则和策略，对部分常见故障进行自动化处理，如自动重启服务、调整资源配置、隔离故障节点等，进一步缩短了故障恢复时间，降低了业务中断风险，确保了电力系统的稳定运行。

其次，基于大数据的设备寿命预测中，依赖于对设备运行数据的实时收集与处理，通过数据标准化、缺失数据处理和异常值处理等方法，系统能够制作出可靠的数据标签，为寿命预测提供准确的数据支持。而利用机器学习算法，如支持向量机、长短时记忆网络（LSTM）等，可构建设备寿命预测模型。并通过模型训练与验证，系统能够找出设备当前运行状态与预期剩余使用寿命的关系，实现对设备剩余寿命的精确预测。此外，基于设备寿命预测结果，系统能够制定出更加合理、高效的维护计划，通过减少不必要的维护频次和提高设备的利用率，系统能够降低维护成本，延长设备的使用寿命。最后，在人工智能在资源配置与调度中的优化中，人工智能能够处理海量数据，通过算法模型进行深度分析，预测未来的资源需求趋势，这种预测能力有助于提前规划资源配置，避免资源短缺或过剩的情况，确保电力系统的稳定运行。而在优化资源配置方案时，可基于数据分析结果，人工智能可以生成多种资源配置方案，并通过模拟仿真评估各方案的优劣，有助于决策者选择最优方案，实现资源的高效利用，降低资源浪费。与此同时，在资源配置过程中，人工智能还能实时监控资源的使用情况，并根据实际情况进行动态调整，这种灵活性确保了资源配置的准确性和及时性，提高了电力系统的运行效率。

四、结束语

人工智能在电力行业先进电子产品开发中的应用探索，不仅提高了产品的设计效率与质量，还促进了电力行业的智能化转型与可持续发展。通过利用人工智能技术的优势，电力行业可以更加精准地预测用户需求、优化资源配置，并实现对电力设备的智能监控与维护。而随着人工智能技术的不断成熟与普及，其在电力行业电子产品开发中的应用将更加广泛与深入，为电力行业的高质量发展提供强有力的支撑。因此，电力行业应积极探索人工智能技术的应用，加强技术研发与人才培养，以推动电力行业的智能化发展迈上新台阶。

参考文献

[1]向英，韩玄. 电力行业人工智能技术应用的网络安全风险分析［J］. 信息安全与通信保密，2023,(10):67-74.

[2]陈岳，何双伯，杨春，等. 人工智能技术在电力行业中的应用［J］. 河南科技，2021,40(35):12-16.

[3]王玉萍，李明莉，高芳萍，等. 人工智能在电力市场中的应用分析与架构设计［J］. 电力大数据，2021,24(10):79-85.

[4]李建国. 人工智能在医疗行业中的应用分析［J］. 集成电路应用，2021,38(08):48-50.

[5]王川，张杰，李伟，等. 人工智能技术在电力调度自动化系统中的应用分析［J］. 科技创新与应用，2021,11(12):149-151.

[6]胡全贵，谢可，任玲玲，等. 人工智能在电力行业中的应用分析［J］. 电力信息与通信技术，2021,19(01):73-80.

[7]杨灿魁. 人工智能在电力物资辅助评标中的应用［J］. 集成电路应用，2023, 40 (04): 394-397.

[8]张锐，赵俊炜. 基于人工智能模块和自适应广域阻尼控制器的电力调度稳定控制方法［J］. 自动化应用，2023, 64 (08): 70-73.

[9]侍海将. 人工智能技术在电力设备运维检修中的应用［J］. 电子技术，2023, 52 (04): 352-353.

[10]张卫斌. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用研究［J］. 河北农机，2023, (07): 67-69.

电力工程安装施工中的质量控制策略探讨

张青

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 毕节 553100

摘　　要： 本文深入探讨了电力工程安装施工中的质量控制策略，分析了面临的技术、可持续性和法规挑战，强调了质量控制对确保电力设施可靠性、安全性和性能的重要性。文章详细阐述了前期准备、施工现场管理以及质量检验和测试等关键策略。通过本文的研究，可以为电力工程安装施工提供有力的质量控制指导，确保项目的顺利进行和工程质量，满足社会日益增长的电力需求。

关 键 词： 电力工程；安装施工；质量控制

Discussion on the quality control strategy in electric power engineering installation and construction

Zhang Qing

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

Abstract: This paper explores the quality control strategy in power engineering installation and construction, analyzes the technical, sustainability and regulatory challenges, and emphasizes the importance of quality control to ensure the reliability, safety and performance of power facilities. This paper details the key strategies of preliminary preparation, construction site management, and quality inspection and testing. Through the research of this paper, it can provide strong quality control guidance for the installation and construction of power engineering, ensure the smooth progress of the project and the quality of the project, and meet the growing power demand of the society.

Keywords: electrical engineering; installation and construction; quality control

引言

电力工程安装施工在现代社会中扮演着至关重要的角色，为各行各业提供电力支持。然而，随着技术的不断进步和社会需求的不断变化，电力工程安装施工也面临着前所未有的挑战。这些挑战包括快速变化的技术要求、环境可持续性的要求以及不断升级的法规和标准。工程规模日益庞大，复杂性也不断增加，因此质量控制显得尤为重要。本文旨在深入探讨新形势下电力工程安装施工中的质量控制策略，分析挑战、强调质量控制的重要性，并详细研究前期准备、施工现场管理以及质量检验和测试等方面的关键策略，以确保电力工程的高质量、可持续性和安全性。

一、面临的挑战

1.技术要求的变化

随着科技的飞速发展，电力工程安装施工领域的技术要求正经历着前所未有的变革。智能化、自动化和数字化技术的广泛应用，不仅极大地提升了电力系统的运行效率，也对施工人员的专业技能提出了更高要求。例如，智能电网的建设需要施工人员掌握先进的通信技术、数据分析能力和远程监控技术，以确保电网的稳定运行和高效管理。新型电力设备和材料的不断涌现，如高效节能的变压器、环保型的绝缘材料等，要求施工人员必须不断学习新知识，掌握新技术，以适应这些新型设备和材料的安装施工要求[1]。这种持续的技术更新和学习压力，成为电力工程安装施工领域的一大挑战。

2.可持续性要求

环境可持续性已成为全球共识，电力工程安装施工领域也不例外。在施工中，如何减少对环境的影响，提高资源利用效率，成为当前亟待解决的问题。这要求施工人员在项目设计之初就充分考虑环境因素，如选择环保型材料和设备，优化施工方案以减少能源消耗和废弃物产生[2]。在施工过程中，还需采取一系列环保措施，如施工扬尘控制、噪音管理、废弃物分类处理等，以确

作者简介：张青（1995.02-），男，汉族，贵州绥阳人，本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化，国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司。

保施工活动对环境的负面影响降到最低。此外，施工完成后，还需进行环境影响评估，确保项目符合环境可持续性要求。这一系列环保要求的落实，不仅考验着施工人员的环保意识，也对其专业能力提出了更高要求。

3.法规和标准升级

随着电力行业的快速发展，相关的法规和标准也在不断升级和完善。这些法规和标准不仅涵盖了施工安全、质量控制等方面，还涉及环境保护、能效提升等多个领域。施工人员必须严格遵守这些法规和标准，确保施工活动的合法性和合规性。由于法规和标准的变化往往伴随着新技术的引入和行业标准的提升，施工人员还需密切关注相关法规和标准的变化动态，及时调整施工策略和方法，以适应新的要求[3]。这种对法规和标准变化的敏感性和适应性，成为电力工程安装施工领域的又一重要挑战。

二、质量控制的重要性

1.确保可靠性，稳固电力供应

高质量的施工是电力设施稳定运行的基础。在电力工程的安装施工过程中，任何细微的质量问题都可能成为日后电力设施故障的隐患。如电缆接头处理不当、设备安装精度不足等，都可能导致电力设施在运行过程中频繁出现短路、过热等问题，严重影响电力供应的稳定性和可靠性。因此加强质量控制，确保每一个施工环节都符合设计要求和技术标准，是保障电力设施长期稳定运行、减少故障率、提高供电可靠性的根本途径。

2.提升安全性，守护生命财产

电力工程施工的安全性直接关系到施工人员的生命安全和电力设施的运行安全。通过加强质量控制，可以显著提升施工安全性。这包括建立健全的安全管理体系，规范施工人员的操作行为，确保施工过程中的安全防护措施到位；通过严格的质量检验和测试，确保使用的设备和材料符合安全标准，避免因质量问题导致的安全事故[4]。质量控制还能促进施工过程的标准化、规范化，减少人为因素导致的安全风险，为电力工程的顺利推进提供坚实的安全保障。

3.降低维护成本，延长设施寿命

高质量的施工不仅关乎电力设施的运行安全，还能有效降低其维护成本。电力设施一旦投入运行，其维护成本将直接影响电力企业的经济效益。如果施工质量不高，电力设施在运行过程中容易出现故障或损坏，需要频繁进行维修和更换，这不仅会增加企业的运维成本，还会影响电力供应的稳定性和可靠性。因此加强质量控制，确保施工质量，可以从源头上减少电力设施的故障率，延长其使用寿命，从而降低维护成本，提高电力企业的经济效益和社会效益[5]。

4.提高可持续性

质量控制还与电力工程的可持续性密切相关。在施工中，通过采取环保措施和方法，减少对环境的影响；通过选用符合环保要求的材料和设备，提高资源利用效率。这些措施和方法不仅可以提高电力工程的可持续性，还可以为企业树立良好的社会形象，增强市场竞争力。

三、前期准备和规划：奠定项目成功的基石

1.合同评审：精准把握项目需求

合同评审作为电力工程安装施工前期准备的首要环节，其重要性不言而喻。通过对合同条款的细致审查，项目团队能够清晰地了解项目的目标、范围、质量标准和时间要求等核心要素。这一过程中，不仅要关注合同中的显性条款，更要深入挖掘其中的隐性要求，确保对项目需求有全面而准确的理解。合同评审还应包括对项目风险和可行性的评估，通过风险识别和分析，为项目后续的实施提供预警和应对策略，确保项目的顺利推进[6]。

2.资源分配：确保项目资源高效利用

资源分配是电力工程安装施工前期准备中的另一项关键任务。资金、人员和设备的合理配置，直接关系到项目的顺利进行和最终成效。在资金方面，项目团队需要根据项目的规模和复杂程度，科学编制预算，确保资金在各个环节的合理使用。人员方面，则需要根据项目需求，组建一支专业、高效的施工团队，明确各成员的职责和任务，确保团队成员能够各司其职，协同作战。设备方面，则需根据施工要求，选用性能稳定、操作简便的施工设备和工具，以提高施工质量和效率。

3.项目团队组建：打造专业高效的施工队伍

项目团队的组建是电力工程安装施工前期准备中的核心环节。一个优秀的项目团队，不仅需要具备相关的专业知识和技能，还需要具备良好的团队协作和沟通能力。在组建团队时，项目团队应充分考虑团队成员的专业背景、工作经验和个人能力，确保团队成员能够互补互助，共同完成项目任务。还需要注重团队成员的培训和发展，通过定期的培训和技能提升活动，提高整个团队的专业水平和综合素质[7]。

4.利益相关者沟通：构建和谐的项目生态环境

与利益相关者的有效沟通是确保项目成功的重要保障。在项目启动之前，项目团队需要与项目相关的各方进行充分的沟通和协商，明确项目的目标和要求，达成一致意见。这包括与业主、设计单位、监理单位以及供应商等各方建立良好的合作关系，共同为项目的顺利实施贡献力量。在项目进行过程中，项目团队还需要及时与利益相关者沟通进展情况，解决出现的问题和矛盾，确保项目的顺利进行。通过构建和谐的项目生态环境，为项目的成功实施提供有力保障。

四、施工现场管理

1.人员管理与培训

施工现场的工程团队必须具备必要的技能和知识，以确保工程顺利进行。这包括电力系统的专业知识、施工技术、设备操作等。项目经理和领导团队应确保工作人员具备所需的资格和认证，并提供必要的培训和支持，以填补他们的知识和技能差距。在培训方面，应注重理论与实践的结合，通过模拟施工、案例分

析等方式，提高施工人员的实际操作能力和解决问题的能力。还需要加强施工人员的安全教育和培训，提高他们的安全意识和自我保护能力[8]。

2.进度控制

施工进度的控制是确保项目成功的关键因素。项目经理需要定期监测工程进度，并采取必要的措施来应对潜在的延误。合理的进度控制可以有效减少工程成本，减轻风险，并确保工程质量不受影响。在进度控制方面，可以采用项目管理软件等工具，对施工进度进行实时监控和跟踪。还需要加强与施工团队的沟通和协调，及时解决施工中出现的问题和矛盾，确保施工进度的顺利进行。

3.安全管理

安全管理是电力工程安装施工中的重要环节。施工现场的安全管理不仅关系到施工人员的生命安全，还关系到整个项目的顺利进行。因此，必须加强施工现场的安全管理，确保施工质量和安全。在安全管理方面，应建立完善的安全管理制度和应急预案，明确各人员的安全职责和应急措施。还需要加强施工现场的安全检查和监督，及时发现和消除安全隐患。此外，还需要加强对施工人员的安全教育和培训，提高他们的安全意识和自我保护能力[9]。

五、质量检验和测试

1.材料和设备检查

在使用前，必须对材料和设备进行全面的检查。材料的质量检验包括检查原材料的来源、生产过程、规格和质量认证。设备的性能测试包括验证其功能是否正常以及是否满足项目的需求。任何不合格的材料和设备都应立即替换，以确保工程质量。在材料和设备检查方面，可以采用抽样检测、全面检测等方式，对材料和设备的质量进行全面检查和评估。还需要建立材料和设备的追溯机制，确保在出现问题时可以及时追溯和处理。

2.施工过程中的检验和测试

在施工过程中，定期进行检验和测试对于确保工程质量至关重要。这包括施工质量的监测、工艺流程的审查以及相关数据的记录。监测施工质量可以帮助及早发现和解决问题，确保工程符合设计要求。审查工艺流程有助于确保每个步骤都按照计划进行，减少误差和不一致性。记录相关数据可以为质量控制提供有力的依据，以确保项目的一致性和合规性。在施工过程中的检验和测试方面，可以采用无损检测、在线监测等技术手段，对施工质量和工艺流程进行全面监测和评估。建立施工质量的记录和报告机制，确保施工过程中的质量问题和改进措施得到及时记录和反馈。

3.终验和交付前的检查

在工程完成之前，必须进行终验和交付前的检查。这一阶段的目标是确认项目的最终质量，整理相关文件，并进行客户验收。终验包括对整个项目的全面检查，以确保它符合设计要求和标准。文件的整理是为了确保所有相关文档和记录都是完整和准确的，以便日后的维护和审计。最后，客户的验收是确保项目最终交付的一项重要步骤，只有在所有检查合格后，工程才能交付给客户，确保客户满意并符合合同要求[10]。在终验和交付前的检查方面，应建立完善的检查机制和标准，明确检查的内容和要求。加强与客户的沟通和协调，及时解决客户提出的问题和意见，确保工程的顺利交付和客户的满意度。

六、结束语

未来随着电力需求的持续增长和技术的不断进步，电力工程安装施工将面临更多新的挑战。因此需要持续加强质量控制策略的研究和应用，不断优化和创新施工方法和流程，以提高电力工程安装施工的质量和效率。只有这样才能确保电力设施的稳定运行，为社会提供安全、可靠、高效的电力服务，满足人民群众日益增长的用电需求。

参考文献

[1] 茹扎洪·斯衣迪克江，苏比·艾山，买买提·艾尼. 新形势下电力工程安装施工中的质量控制措施研究［J］. 电工技术，2024,(S1):167-169.

[2] 王永来. 电力工程安装施工中的质量控制策略研究［J］. 光源与照明，2024,(03):234-236.

[3] 潘铁铮，王琦. 新形势下电力工程安装施工中的质量控制策略研究［J］. 城市建设理论研究(电子版),2023,(29):73-75.

[4] 孙顺顺，史宏伟. 浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略［J］. 模具制造，2023,23(10):247-249.

[5] 蔡德江. 浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略［J］. 城市建设理论研究(电子版),2023,(12):40-42.

[6] 韦佳伟. 电力工程施工中的质量控制策略分析［J］. 电子技术，2023,52(04):192-193.

[7] 徐昊. 浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略［J］. 中国设备工程，2022,(11):256-258.

[8] 李铁军. 电力工程安装施工中的质量控制分析［J］. 通信电源技术，2019,36(07):233-234.

[9] 蔡德江. 浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略［J］. 城市建设理论研究(电子版),2023,(12):40-42.

[10] 杨朝辉. 我国配电网电力工程技术中存在的问题及对策［J］. 大众用电，2021,36(07):72-73.

电力施工中的智能化技术应用与发展研究

李良龙

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 黔西 551507

摘　　要： 我国经济发展的不断提升，对于电力需求越来越高，为了进一步提升电力资源的利用率，智能化技术应用起到至关重要的作用，基于此，智能技术和物联网技术得到了广泛的应用，有效提升了施工效率。本文从电力系统施工面临问题及其因素入手，分析了电力施工中的智能化技术应用与发展前景进行探讨，旨在提升智能化技术应用效果。

关 键 词： 电力施工；智能化技术；发展前景

Research on the application and development of intelligent technology in power construction

Li Lianglong

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd. Qianxi , Guizhou 551507

Abstract: With the continuous improvement of China's economic development, the demand for electricity is increasing. In order to further improve the utilization of electricity resources, the application of intelligent technology plays a crucial role. Based on this, intelligent technology and Internet of Things technology have been widely used, effectively improving construction efficiency. This article starts with the problems and factors faced in power system construction, analyzes the application and development prospects of intelligent technology in power construction, and aims to improve the application effect of intelligent technology.

Keywords: power construction; intelligent technology; development prospects

引言

随着电力事业发展进步，电力工程施工质量不仅关系着电力供应效果，也与社会生产和生活密切相关，电力工程施工中，面临着诸多影响因素，对于电力工程整体建设产生一定的不良影响。在智能化技术的应用下，全面提高电力工程施工效率，保证工程质量。下文将对此进行深入分析，以期提升电力施工中的智能化技术利用成效，实现节能环保的目的。

一、电力系统施工面临的挑战及其因素

（一）施工中负载困难的问题

以往电力系统运行的过程中，负载管理一般是人工方式来完成的，对于人工经验依赖性较高，这种方式通常存在负荷响应不及时、能源波动处理效果不佳等问题。在电力系统负荷突然发生增加或减少时，人工方式无法快速调整供电系统，这就导致电力系统出现不稳定的问题。并且，能源波动处理工作也是一项难度较高的挑战，尤其是在太阳能和风能等可再生能源集成的形势下，系统不稳定性控制难度较高，以往电力系统并不能够根据突然变化及时做出应对措施，进而，导致能源出现浪费的问题[1]。为此，在实际施工的过程中，还需要保证施工方案与实际施工情况相符合，是充分考虑负载困难以及其他施工影响因素。同时，还需要保证施工人员的专业技能为电力施工提供人力支持。

（二）运维成本以及能源集成难度高

以往电力系统运行的过程中采用人工方式进行巡检和干预，以此保证系统处于正常运行状态，这种方式对于人力、物力的要求较高，这就需要投入较大的运维成本，一定程度上也会导致运维效率低下的现象[2]。工作人员需要对电力设备定期巡视，针对存在问题的设备及时进行维护和修复，以此避免突发问题出现，这就需要一定的检修人员和相关设备、工具等，增加运维成本，甚至对用电可靠性产生影响。

以往电力系统运行过程中，对于太阳能和风能清洁能源集成工作高效完成难度较高，主要是由于能源稳定性差、波动性高的因素产生的。并且，这一类能源受到外界影响较高，比如，外界地理条件、天气、季节变换等，导致电力输出面临着不可预测的波动性。以往电力系统在面对这些问题时，很难进行自动调整，这就致使清洁能源利用率不高，并且，能源波动性也会导致电力系统供电稳定性差的问题，比如，电网波动频繁、电压不稳等情况[3]。

（三）工程施工过程控制难度高

电力工程施工时受到外界因素影响较高，这些影响因素可能

作者简介：李良龙（1993.03-），男，穿青人，贵州省纳雍县，助理工程师，大专，研究方向：电力科学类火力发电厂。

导致建设进度和质量，这样工程施工很有可能出现工期延误或者质量不满足的问题。此外，工程量和施工计划也会出现不匹配的问题，进一步影响工程施工进度[4]。再者，在电力工程建设时，管理工作的科学性也是一项重要的影响因素，经常存在管理单一或者混乱的问题，导致这些问题出现主要是因为管理人才的匮乏，或者管理方式不符合工程实际情况，甚至出现重复管理的问题，导致质量监督工作落不到实处，影响工程实际施工质量。

二、电力工程施工中智能技术应用渠道

（一）案例分析

在社会电力需求快速增长的背景下，某市电力系统出现严重的负荷问题，特别是在高峰阶段，负荷问题非常严重。根据相关统计数据，某市近5年的电力负荷情况高达8%，这一现象已经远远超过了全国平均用电水平[5]。以往电力系统很难满足用电需求，这样就会出现能源浪费、供电不稳定的现象，对此，某市电力机构着手于智能电网建设，充分利用智能化技术提升电力系统运行效果，为保证供电可靠性提供基础保障，同时，起到能源降低的作用。

为了很好地解决上述问题，电力部门在智能化技术应用的基础上进一步深化，充分发挥出智能化技术应用质量，促使电力系统自动化运行效果得以提升。

（二）智能技术优化负载管理

在电力施工中的智能化技术应用关键在于能够准确、实时采集与处理负载数据，应对能源波动问题，通过利用先进的智能化传感器，结合机器学习算法，通过数据采集模块和大数据数据分析技术实现负载管理优化目的。同时，也可以提前对负荷变化进行预测，为负载管理提供更可靠的依据。不仅可以起到优化发电机组输出的作用，实现降低能耗的目的，也有利于提升供电系统高效、安全运行效果，进一步强化管理效果[6]。基于此，智能技术也可以实现对电力系统进行自动化控制的目的，保证其运行科学合理，进而提升电力设备供电质量的同时延长其使用寿命。根据以往负荷数据结合相关标准进行分析，以监测数据为基础进行动态调整。如表1所示为某市某个阶段负荷数据表。根据负荷预测结果可知，智能技术应用可以提高发电机组输出调整工作的及时性，在保证电力系统高效、稳定的基础上，优化负载管理效果，降低电力系统能源浪费和供电不稳的现象发生概率。

表1：某市一周内的负荷数据表

	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	第七天
实际负荷	1000 MW	1020 MW	1090 MW	1100 MW	1190 MW	1200 MW	1300 MW
预测负荷	990 MW	1010 MW	1070 MW	1110 MW	1170 MW	1210 MW	1270 MW

（三）智能化技术及机器人的应用

在电力施工过程中，智能技术应用可以充分利用设备智能效果缩减施工时间，合理配置施工资源，在提升施工质量基础上减少成本，全面提高电力工程施工质量和效率。在电力工程施工期间，要想切实提升工程建设经济效益，就需要充分发挥智能化技术的利用率，最大限度降低危险因素，保证电力设备安装准确性，比如继电器安装、变压器安装等[7]。相对于人工工作来说，智能化机器人可以提供更加精准的操作技术，并且可以在危险环境下保证设备连接的可靠性，也可以在电力缆线铺设中使用，利用智能化机器人开展协调工作，以便于提升电力连接的稳定性。并且，在电力施工中，智能化机器人可以用于重物搬运方面，一方面保证了工作人员的施工安全性，另一方面可以节约人力成本，同时也可以提升施工效率。

此外，无人机领域也是一项很好的智能化技术，可以用来检查电路和变电站运行情况，并且获得相应的数据和图像，以便于为管理人员提供准确的参考数据。智能化技术也可以用于电力系统监测工作中，以便于及时发现问题，进而做出应对措施，进而实现数据智能化采集和处理，为电力系统建设提供技术支撑。总之，充分利用智能化技术及机器人，不仅可以提升电力工程施工效果，也可以全面提升施工的安全性，促使电力工程朝着智能化方向发展[8]。

（四）传感器设备和物联网技术的运用

电力工程施工中，传感器设备和物联网技术应用可以有效提升电力设备智能化监控效果，保证数据采集的高效性，为电力系统稳定运行奠定基础。在电力系统中，各项设备运行都可以利用传感器技术来检测设备运行效果，比如，压力、温度、湿度进行监控。传感器技术作为数据采集的关键点，除了温度、湿度外界环境数据采集以外，对于电力系统内部电压、电流数据也可以很好地进行采集和分析，并且可以借助网络将处理的数据传递给控制中心，如果是异常数据则需要对其进行处理，如果没有异常情况则可以进行自动存储，形成监测经验[9]。一旦存在故障工作人员可以通过控制中心进行处理，也可以到实际现场解决问题，最大限度降低故障系统调整或重启所需的时间。再加上，物联网技术，能够对系统以及各类软件进行自动更新，以便于保证电力系统运行状态始终处于最佳的状态。为此，智能化技术在电力施工中，可以很好地保证各项设备运行的稳定性，避免因为外界因素造成电力损失的情况[10]。

（五）基于智能化技术提升运维效率

电力机构在追求高效运营的同时，也需要做好成本控制工作，这样可以能够保证其经济效益。在这样的背景下，电力机构引入智能化技术实现了远程监控的目的，充分利用了智能化传感器技术作为电力系统的核心技术。目前，智能化技术的运行精度和实时性都得到了全面提升，结合网络电力机构可以在最快速的时效下获得相应的数据，实现实时监测电力的目的，比如，电力系统电压、频率、功率等运行参数，控制中心形成了一个完善的检测系统，针对故障或异常情况可以进行警示，并且可以针对部分故障采取针对性措施进行自愈，比如，自动化调整电网结构、切换备用电源等处理工作[11]。这样工作人员并不需要亲临现场便可以利用控制中心进行远程监控和操控，保证电力系统的运行效果。这种方式不仅可以提升了运维工作应对的准确性，也可以很好地防止供电中断问题，避免经济损失。

通过对上述问题进行分析，电力系统运行得到了显著的效果，智慧电网系统建设和实施可以很好地提升供电系统运行效果，并且，通过动态调整和优化方式，保证电力系统负载情况下可以快速地进行响应，更好地应对能源波动问题，在保证供电系统可靠运行的基础上，实现能源节约的目标。在智能化技术应用下，电力系统运维成本也可以得到大幅度地节约，结合智能化技术的自动控制系统，促使电力系统的运行实现自动化处理的目的，事先制定相应处理指令，一旦电力系统触发指令，便可以进行自愈，促进能源集成，提升电力系统输出和预测的准确性。

三、电力工程中智能化技术发展前景

（一）AI与深度学习智能化技术的应用与发展

在电力工程项目中，将人工智能、深度学习等当前先进技术应用其中，能够从多个角度为电力事业发展提供更为智能化的决策和优化支持。从电力设备历史数据的角度进行分析，通过人工智能、深度学习技术能够识别出其中可能存在的故障，对设备发生的故障能够在第一时间进行有效预测，并根据预测结果提前采取针对故障的设备维护措施，最大限度地避免因故障造成的停水停电[12]。

另外，通过对设备的历史用电数据进行分析，还可以对设备的电力负荷变化情况进行预测，在此基础上对电力系统调度、资源分配进行优化和调整。基于以上，应用人工智能、深度学习技术，能够为电力工程事业长远发展提供全新发展机遇，创新更为先进的工程方法和流程。

另外，电力工程施工中，大数据分析技术可以实现大范围数据采集工作，但是也需要制定相应的施工方案，以便于对设备故障进行精准预测，保证数据分析质量，为电力工程资源配置、科学调整提供参考依据，辅助工作人员制定出合理的施工计划。

（二）数字孪生技术在电力工程施工中的发展

所谓数字孪生技术，简单来讲就是将实际物体、机械设备或应用过程等，与数字模型两者结合起来的一种创新技术，能够在虚拟状态下对外界环境中的实际情况进行模拟、监测和优化[13]。将数字孪生技术应用于电力工程施工项目中，能够对电力工程施工过程进行模拟分析，并对现有施工作业流程进行科学规划和调整，还能够对其中可能存在的问题进行预测，制定相应的问题处理方案。基于以上，应用数字孪生技术，能够为电力工程施工提供全面可靠的数据反馈和模拟结果，为工程项目相关决策层提供可靠信息，为其提供更为智能化的决策制定方案；另外通过该技术还可以对现有资源进行科学调配，以使得电力工程施工活动更为高效。

四、结论

综上所述，电力工程施工过程中，智能化技术应用起到一定促进作用，为电力系统转型和经济效益运行提供技术支撑。充分利用智能化机器人、传感器设备、物联网技术等智能技术提升电力系统负载管理效果，优化资源分配，减少人为错误。基于数据驱动等技术提升电力系统运行的高效性、可靠性，促进电力行业稳定发展进步，实现智能化转型，为电力相关产业的发展奠定坚实的基础。

参考文献

[1]邹敦宇. 智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用［J］. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2024(2):0045-0048.
[2]甘志权. 人工智能技术在电力工业工程自动化转型中的应用研究［J］. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2024(6):0206-0209.
[3]刘辉. 智能化技术在电气自动化控制中的应用研究［J］. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术，2024(7):0079-0082.
[4]丁钎. 建筑施工中的智能机器人技术应用研究［J］. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2024(3):0071-0074.
[5]郭泽雄. 智能化技术在建筑工程主体结构施工中的应用研究［J］. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2024(8):0216-0219.
[6]祝峰云. 智能技术在电力工程施工中的应用与发展前景［J］. 光源与照明，2024(2):243-245.
[7]马丹，伍冠宇，张晓燕. 智能电网技术在电力调度自动化中的应用研究［J］. 光源与照明，2024(2):228-230.
[8]郑志军. 智能节能技术在电力工程施工中的应用与成本效益分析［J］. 石化技术，2024,31(8):342-343.
[9]徐赛明，陈会会，杨晓苗. 变电站智能化监测与管理在电力工程输配电中的应用研究［J］. 消费电子，2024(6):90-92.
[10]田忠民，付春旺. 智能电力监控系统在配电系统中的应用［J］. 南方农机，2018,49(23):240-241.
[11]王华磊，翟曦. 智能化技术在智慧医疗发展中的应用研究［J］. 中国科技纵横，2024(7):46-48.
[12]戴蔚辰. 电力工程建设中的信息化与智能化技术应用研究［J］. 中国高新科技，2024(2):36-37+75.
[13]鲁伟. 采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究［J］. 中国矿业，2024,33(S01):199-202.

#1-#4 炉锅炉炉底渣斗水封槽改造

闫浩文

国家能源集团山东石横热电有限公司，山东 泰安 271000

摘　　要： 国家能源集团山东石横热电有限公司 #1-#4 锅炉炉底水封槽原设计为水封插板方式进行密封，在机组运行过程中，锅炉炉膛内部落渣会导致灰渣飞溅，当渣斗水位升高时，会导致渣斗内部水溢流，渣斗内灰渣会进入水封槽内，导致渣斗水封槽积渣严重，从而导致渣斗水封槽发生严重变形，锅炉炉底水封破坏，造成炉底漏风严重，甚至会导致炉膛火焰中心上移，严重影响锅炉的安全运行。为此，对锅炉炉底水封槽进行改造，改造为新型柔性密封装置，减少了锅炉漏风，提高了机组运行稳定性。

关 键 词： 锅炉；渣斗水封槽；新型柔性密封装置

#1-#4 Boiler bottom slag bucket water seal tank renovation

Yan Haowen

National Energy Group Shandong Shiheng Thermal Power Co., Ltd. Taian, Shandong 271000

Abstract: The original design of the water seal slot at the bottom of boilers #1-#4 in Shandong Shiheng Thermal Power Co., Ltd., a subsidiary of National Energy Group, was to seal using a water seal insert plate method. During the operation of the unit, slag falling inside the boiler furnace would cause ash and slag to splash. When the water level in the slag hopper rises, it can lead to water overflow inside the hopper, causing ash and slag in the hopper to enter the water seal slot, resulting in severe slag accumulation in the slag hopper water seal slot. This can lead to severe deformation of the slag hopper water seal slot, damage to the water seal at the bottom of the boiler, causing serious air leakage at the bottom, and even causing the flame center of the furnace to move upward, seriously affecting the safe operation of the boiler. Therefore, the water seal slot at the bottom of the boiler was modified to a new flexible sealing device, reducing boiler air leakage and improving the stability of unit operation.

Keywords: boiler; water seal tank; new flexible sealing device

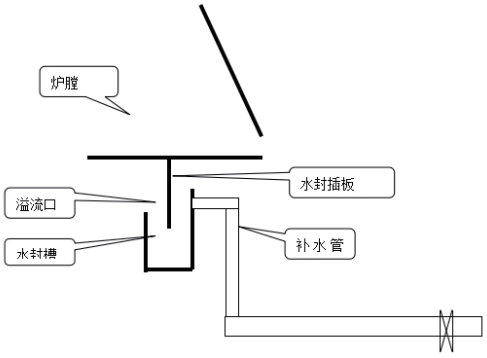
引言

石横公司 #1、#2 炉与 #3、#4 机组分别于 1987年和 1997 年建成投产发电。锅炉采用上海锅炉厂生产的 SG-1025/17.5-M899 型直吹式锅炉。锅炉炉底主要依靠前后拱水冷壁下方焊接的密封插板与锅炉底部渣斗上方的密封水槽形成密封结构，从而保障锅炉运行过程中炉底不发生漏风情况。但由于机组的长期运行，原密封装置已满足不了锅炉正常运行的需要。同时，由于渣斗补水管路的改造，原渣斗密封槽补水由开式水源改为了灰渣回用水，导致渣斗水封槽积渣情况日益严重。为了保障机组的安全稳定运行，对渣斗水封槽进行改造。

一、设备简介

（一）渣斗水封槽结构

石横公司 #1-#4 炉为上海锅炉厂制造的，亚临界参数、一次中间再热、控制循环、单炉膛、平衡通风，摆动燃烧器四角切圆燃烧，固态排渣，全钢构架，SG-1025/17.5-M840 型锅炉，并进行了低氮燃烧器改造。整个炉膛四周为全焊式膜式水冷壁，炉膛宽度14022mm，炉膛深度11760mm，炉顶中心管高度59000mm，汽包中心线高度59920mm，炉顶大板梁高度67900mm。冷灰斗倾角55°，炉底开口尺寸为1200mm与炉底渣斗相接。锅炉炉底水封槽结构如下[1]：



> 图 1-1 锅炉炉底水封槽结构

> Fig. 1-1 Structure of water seal groove at the bottom of boiler

作者简介：闫浩文（1992.11-），男，汉族，山东省陵城区，国家能源集团山东石横热电有限公司，安全工程师、本科，研究方向：锅炉检修、燃烧与传热优化调整。

（二）渣斗水封槽工作原理

根据锅炉炉底水封槽结构可以看出，在机组停运时，水封插板与水封槽存在一定的间隙，当机组处于运行状态时，锅炉膨胀下移，水封插板就会插到水封槽内，从而与水封槽内的水形成密封结构，但由于水封槽内积渣，导致水封插板下降过程中受到阻力，导致水封槽及水封插板产生变形，从而导致锅炉炉底漏风。

二、机组运行存在的问题

渣斗水封槽处挡渣帘易高温损坏，起不到挡渣的效果，致使大量的灰渣进入水封槽内，一般满负荷工况下仅一天时间，水封槽内就积满灰渣，使水封槽挡板无法顺利膨胀，锅炉膨胀受阻，造成挡板的折弯[2]。故而，每次停机后，都需要人工清除水封槽内积渣，因水封槽很窄（宽约20厘米），人工清灰非常困难，搭设脚手架等准备工作也比较多，造成检修工作量增大，积渣使水封槽内补水出现断流，水封槽局部出现漏风现象[3]，影响锅炉负压，使炉内火焰上移，排烟温度升高，灰份增大[4]。为了解决渣斗水封槽积渣导致的水封槽、水封插板变形以及频繁的清渣、锅炉炉底漏风问题，我们提出对锅炉炉底水封槽进行技术改造[5]。

三、针对渣斗水封槽主要缺陷的改进措施

（一）解决渣斗水封槽积渣问题

渣斗水封槽作为锅炉炉底密封的重要装置，如何解决积渣是我们面临的首要问题。针对积渣产生的原理，我们提出不采用补水水源的方式，即拆除原有的渣斗水封槽，不再使用水封结构，这样可以从根本上解决积渣的问题。

（二）解决渣斗水封槽漏风问题

拆除原有的水封槽，保留水封插板与前后拱水冷壁螺栓连接位置，对渣斗浇注料[6]重新进行安装，前后拱水冷壁与渣斗连接位置采用新型柔性密封材料形成密封件，从而消除锅炉炉底漏风情况[7]。

四、锅炉炉底水封槽改造方案

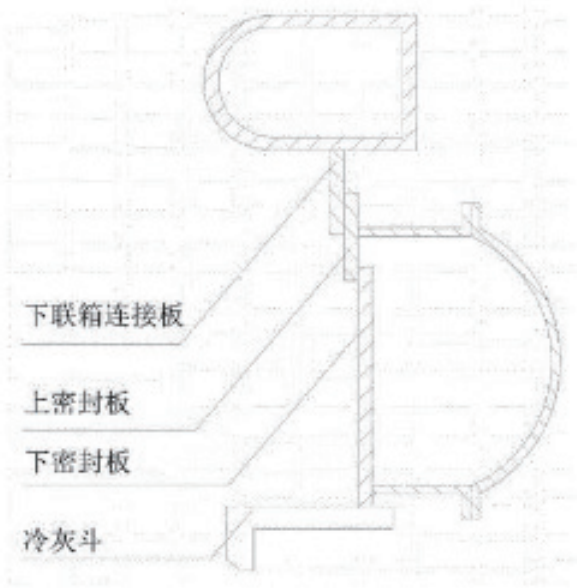
根据设备现场运行情况、设备图纸以及实际构建状况，本课题计划将原渣斗水封槽进行优化改造，拆除原渣斗水封槽及补水管路，更换为柔性密封装置。具体方案如下：

（1）根据设备图纸以及运行工况，对锅炉上下及左右膨胀量、渣斗水封槽实际尺寸进行详细测量，以保证柔性密封装置的膨胀量在允许设计值范围之内。

（2）对原渣斗水封槽及浇注料进行拆除，安装新型柔性机械密封装置。柔性式机械密封是用于锅炉下联箱与锅炉渣井之间的密封装置，该装置的设计应能吸收锅炉的各方向的膨胀变形及承受炉膛最大压力，当锅炉各方向的膨胀变形在原设计值范围外有±10%变化时，机械密封仍然能正常使用[8]。

（3）柔性机械密封装置主要包括内侧的不锈钢板及外侧的耐高温防护材料，柔性式机械密封内侧的金属部分采用316L超高温1100℃热不锈钢板材，保证满足锅炉底部900℃高温及磨损的使用工况，炉膛内侧的不锈钢板使用波纹板，在机组运行中更有效的补偿。

（4）柔性密封装置使用温度不小于800℃，由多层隔热材料组成，其中包含高分子合金板，氟橡胶布，陶瓷纤维，无碱玻纤布，聚四氟乙烯膜，内外316L不锈钢编织网，柔性密封装置有效厚度不低于25mm，单层材料厚度不低于3mm。柔性密封装置密封板材质等级为316L不锈钢或以上等级的不锈钢；柔性密封装置的隔热仓室有可靠的避免焦渣集聚的措施；隔热填料层材料使用温度不小于1200℃。



> 图 4-1 锅炉炉底新型密封结构

> Fig. 4-1New sealing structure for boiler bottom

五、改造结果与效益分析

通过对渣斗水封槽的改造，一方面体现在渣斗水封槽不再进行补水[9]，可以减少水资源的使用，另一方面原渣斗水封槽积渣情况不再出现，减少了锅炉炉底漏风率，提高了锅炉燃烧效率，同时还消除了因渣斗水封槽积渣而导致的水封槽补水外流，提高了现场文明生产水平，在提升设备可靠性的基础上，实现节能降耗[10]。

本项目实施后可有效减少水资源的使用，测算在标准工况下，渣斗水封槽每小时补水1.2吨，按每台机可利用小时数7000小时计算，每台机每年可节约用水8400吨，节约水费共计8400*3.7*2=6.216万元。同时，水封槽改造后消除了清理积渣以及文明生产治理所带来的的人工成本费用，极大了减少了生产费用的投入，按每次停炉可节约清理费用1.2万元计算，预计每年可节约清理费用1.2*20*2=48万元，综上，共计可节约生产投入费用54.216万元，极大提高了生产效益。

六、结束语

通过对 #1-#4 炉锅炉炉底水封槽进行改造，消除了锅炉炉底漏风情况，新型柔性密封装置不再使用水进行密封，极大地节约了水资源；同时，也消除了机组停运时清理水封槽积渣的情况，极大地提高了机组运行地安全性和稳定性，可靠的保障机组安全、环保、经济、长周期运行。

参考文献

[1] 朱纪清. 除灰渣系统功能和设备简介 [J]. 电站辅机，1996,(03):17-23.

[2] 吴龙海. 锅炉炉底水封槽堵塞原因分析及解决措施 [J]. 通讯世界，2015,(10):220-221.

[3] 连应华，林超. 炉底水封破坏对锅炉运行的影响及改进措施 [J]. 华电技术，2013,35(02):54-55+85.

[4] 刘宏伟，付勇，秦志强. 锅炉炉底水封破坏的危害分析及改造实例 [J]. 内蒙古石油化工，2013,39(23):80-81.

[5] 陈俊荣. 3000t/h 锅炉在炉底水封停运后的运行调整 [J]. 发电设备，2011,25(04):231.

[6] 范中华，刘崇，范俊峰. 对锅炉除渣斗内衬的探讨 [J]. 中国电力，2001,(10):78-80.

[7] 吴宝富. 超临界直流锅炉运行中破坏炉底水封浅析 [J]. 华北电力技术，2013,(05):32-36.

[8] 董立华. 煤粉炉排渣斗技术特点及应用 [J]. 科技创新与应用，2015,(22):159.

[9] 余艳明. 一起冷渣斗水封槽缺水原因分析及管理 [J]. 企业技术开发，2013,32(07):63-64.

[10] 张岑. 300MW 锅炉渣水零排放技术改造 [J]. 河南科技，2013,(20):88+91.

大型风电场发电运行提质增效技术分析

莫国考

广西国电投海桂新能源有限公司，广西 南宁 530000

摘　　要： 绿色环保理念下风力发电成为当前电力发展中的主要途径，能够保证最佳的发电水平，促进我国发电行业的健康发展。为了促进大型风电场的健康发展，更好的为人们服务，提升电力系统的功能，更好的满足电力系统需求，需要结合当前大型风电场发电运行情况，探究提质增效技术水平。本文主要对大型风电场发电运行的现状进行分析，并以此为基础探究提质增效技术手段。

关 键 词： 大型风电场；发电运行；提质增效

Technical analysis on improving quality and efficiency of large-scale wind farm operation

Mo Guokao

Guangxi Guodiantou Haigui New Energy Co., Ltd. Nanning, Guangxi 530000

Abstract: Under the concept of green environmental protection, wind power generation has become the main approach in the current power development, which can ensure the best power generation level and promote the healthy development of China's power generation industry. In order to promote the healthy development of large-scale wind farms, better serve people, enhance the function of the power system, and better meet the demand of the power system, it is necessary to explore the technical level of improving quality and efficiency based on the current operation situation of large-scale wind farms. This paper mainly analyzes the current situation of large-scale wind farm power generation operation, and explores the technical means of improving quality and efficiency based on this.

Keywords: large-scale wind farm; power generation operation; quality and efficiency improvement

大型风电场是电力系统中的重要构成内容，通过对大型风电场的利用可以实现绿色发电，降低煤炭以及石油等传统能源的消耗，更好的服务于电力行业，同时满足节能减排的要求，促进可再生资源的发展。大型风电场的发电运行中，可能会因为各种因素的影响，导致风电场的功能受到限制。针对这种情况要结合大型风电场的运行特点和当前运行的现状，探究提质增效技术的应用策略。

一、大型风电场的运行特点

（一）风能发电的能量密度小

通过对大型风电场的运行情况分析来看，在相同发电容量的情况下，风电场的发电机相对于水力发电，轮机的尺寸要大很多。这种情况主要是因为风力发电机运行中，对风能的利用可控性比较弱，能够形成的风能密度小。为了保证风能系统的稳定运行，必须要做好对风能密度的控制。

（二）风能发电稳定性差

风能发电运行中容易受到外部因素的影响，导致风机以及电场运行的稳定性降低。风能是一种过程性的能源，风能不稳定会导致发电量出现间歇性和随机性等情况，无法维持电能的持续供应。此外，风能发电主要依靠于风力，但是风是多变的，风向和风速都会随时发生变化，导致风力发电受到限制，这些因素都会影响风力发电的稳定性[1]。

（三）风能无法存储

风能发电是一种过程性的发电模式，无法对风能进行存储，与水力发电存在较大的差别。同时风力发电机组在单独运行中必须要保证良好的运行状态，在运行中机组自身不能断电，否则将会导致风能发电被中断，难以满足实际用电需求。

（四）风轮工作效率低

大型风电机组运行中，风轮的工作效率不高。从理论上分析风轮工作效率可以达到60%左右，但是实际达到的效率要比理论数值低。同时不同的风轮机形成的效率不同，垂直风轮机的效率要大于水平风轮机的效率。垂直风轮机效率一般为30-40%，水平风轮机效率则为20-50%[2]。大型风电场运行中，要想达到相应的工作效率需要风轮始终保持正常运动的状态，才能形成比较稳定的电力系统。

二、大型风电场发电运行提质增效的影响因素分析

（一）电气设备短路

从当前大型风电场发电运行情况分析来看，大部分风电机组的安全事故都与风电场中部分设备自身存在短路的问题有关。通过对大型风电场发电运行的情况研究可以发现，电缆头安装质量控制会影响

设备的短路，而造成电缆头故障的主要原因为开关柜以及制作工艺的问题，导致线路运行中出现空间设计不科学以及线路谐波等问题。此外，大型风电场如果建设在海拔比较高的山区，在气候的影响下，以及雷击、树障等因素的干扰下，也容易引发电气设备短路的问题。

（二）环境温度的影响

大型风电场风电机组的采购和安装时，在合同技术规范中都会对环境的条件进行标注，其中温度也是其中一个重要的考量因素。要求风电机组的运行环境温度一般为零下10摄氏度到40摄氏度之间。夏季天气炎热环境的温度会大幅度升高，环境温度升高容易影响风电机中齿轮箱的运行。通过对风电机工作环境的调查可以发现，高温季节中极端天气的温度可以达到40摄氏度以上，齿轮箱运行的温度超标。虽然风电机厂家针对齿轮箱散热的问题进行处理，但是难以从根本上解决问题，导致在能量转化中形成大量的无效热能，而且超高温的运行容易造成机械故障，加大维修成本，提升停电风险。冬季北方低温容易造成齿轮箱的润滑效能降低，这些问题与舱内密封性以及保温性能不足有关，当前虽然已经提升了加热器的功率，但是同样没有从根本上解决问题。

（三）风机叶片覆冰影响

风机叶片在室外温度达到0摄氏度以下，同时空气湿度比较大的情况下，容易出现覆冰的情况。特别是在雨雪等特殊天气，遇到低温气候极容易出现覆冰。一旦叶片覆冰，会影响叶片的气动性能，导致发电功率降低。覆冰后叶片在转动的过程中会造成空气动力学轮廓变形，影响发电机组对风能的利用，输出功率随之减少。同时叶片覆冰后在转动时会形成更大的额外荷载，加大振动频率，容易对叶片造成损伤，影响叶片的使用寿命。针对叶片覆冰的问题，可以尝试喷洒乙醇、乙烯乙二醇等防冻液进行喷淋，可以降低冰点，降低叶片结冰概率。或者采用超声振动的方式进行除冰，利用叶片的加速振动促使覆冰从叶片上脱落。还可以采用微波、电能等加热的方式除冰，比如在叶片内安装电热元件，通过加热预防覆冰。

（四）地方风力发电消纳影响

当前风力发电的地方消纳也是影响风力发电提质增效的主要问题之一，在风力发电的消纳中缺乏统筹规划意识，导致规划目标无法科学、协调落实。风电送出的通道以及电力调风等与传统煤电间存在冲突，同时风电资源无法存储，在设备建设方面缺乏科学的规划，导致风电的消纳和送出受到影响。针对风电消纳的问题，可以尝试采用源网荷储一体化的方式实现风电资源的整合，通过先进的技术手段实现电能消纳创新。实现电力系统的多能互补，保证储能的合理配置和统筹。构建网荷储高度融合的新型电力系统。

三、大型风电场发电运行提质增效技术方向

（一）空气密度变化

大型分电场发电运行中不仅会受到风速的影响，同时还会受到气压、气温等方面的影响。气压以及环境温度的变化都会对风电场的气流造成扰动，使分离发电的功率发生变化。为了对气压、气温等变化对风力发电功率的影响分析，可以绘制桨叶片的功率曲线分析图，通过对曲线图的研究确定气温与空气密度的规律。从当前各地区的风场环境来看，早晚温差、季节以及气压等方面的变化幅度比较大，在空气密度值的检测中，密度值越低形成的变化幅度越大。环境空气密度值的参考需要以气象局的数值为主，并根据环境空气密度值做好发电策略的调整，通过对环境各项数值的分析，实现对各项数据的过滤。通过对空气密度值的调节，做好对风轮转速、叶尖速的调整，达到更好的风能控制效果。

（二）叶片增效影响

风力发电指的是通过风力的影响带动发电机组叶片的转动，然后利用发电机组内部的增速器提升风机的转动速度，将动能转化为电能。根据我国当前的风机技术的应用了解，每秒钟3米的转速即可以实现发电[3]。为了提升大型风机的发电效率，核心要求是提升风轮的旋转效率以及叶片转动形成的动能。我国当前大型风机增加叶片旋转产生动能的措施可以分为三种：第一，在风轮机的叶片尖位置安装小翼；第二，在叶片上增加涡流器；第三，在叶身加装扰流条能够结合不同风电以及叶片环境采取合理的增功方式，提升风机发电量。

（三）风向矫正

风力发电中风向会随时发生变化，为了保证风电场运行的稳定性，需要保证风向的一致性，针对风向的变化情况及时矫正。当前比较常用的矫正技术为激光雷达矫正技术。激光雷达是通过脉冲多普勒曲线机对空气中气溶胶的移动速度进行测量，了解风速、风向的即时情况。在大型风电场发电运行中地面垂直轴激光雷达设备是比较常用的设备之一，测量的范围集中在10到400米之内，设备在数据采样中频率一般设置在1赫兹，风速测试的范围可以达到0到80米/秒[4]。该设备测量风速的误差可以控制在0.1米/秒，风向的控制可以达到1度，而且设备的使用能够达到相应的技术安全指标标准。地面垂直轴激光雷达设备，收集的数据比较全面，包括风切变、风向、风速以及温湿度等，而且可以移动。同时该设备更灵活、轻便，精准度更高，在海上风能的测试中应用比较多。还可以用于对微观选址的勘察以及风廓的测量等，是风能测试的重要工具。机舱水平轴激光雷达也是比较常用的风电场设备，该设备的类型能够自定义测试的点，在实时数据采集中可以控制在8赫兹左右，最小的采样频率能够控制在1赫兹，针对风力的测量，范围可以从0到40之间，精确到0.1米/秒，风向测试的准确度可以达到0.5度。机舱水平轴激光雷达可识别的内容中包括径向风速、水平风速以及风向等参数。该设备的安装比较简单，能够对机组前端的风向来流进行测量和判断，可以通过利用应用曲线对航行反向纠偏，以及对尾流进行测量，提升机组的控制能力[5]。

（四）激光雷达设备的矫正

针对已建的风能发电厂，为了提升发电效率，需要利用片场纠正的方式达到提质增效的效果。传统风场发电的测试中，纠偏误差一般为2度到7度之间，60%项目纠偏可以达到3度以上。如果偏航达到7度，每年的发电量损失可以达到总电量的2%左右。

四、大型风电场发电运行提质增效策略

（一）加强润滑技术的改进

大型风电场发电运行中，风电机组是其中的重要组成部分，风

电机组中包含多个润滑系统，润滑系统中的设备，比如轴承、油泵等的运行情况直接影响发电运行效率。如果润滑系统出现损坏，会影响轴承的润滑，转动时容易因摩擦形成损坏。长时间缺乏润滑的运行损坏的程度不断加大，只能更换设备，影响电场运行效率，加大运行成本。因此要加强对润滑系统的维护，有效减少故障点。结合风电场的情况设置润滑系统检测体系，实时观察风电场中电力系统中的轴承、电机以及变桨系统润滑状态。首先，对主轴润滑油泵的观察，在油泵的运行中要加强对信号的动作控制。变桨油泵的状态与电机油泵相似，需要结合油泵的状态情况进行修改。风机机械故障是比较难处理的故障之一，一旦出现故障修复的时间更长，而且修复的难度更大。轴承损坏在这些故障中的占比比较大，损坏的主要原因为润滑不良。润滑系统可以结合具体的故障原因，解决系统问题。在润滑系统的改进中，主控系统可以根据润滑系统的状态及时调整，并设置报警信息。故障发生后可以及时发出报警，通知维修人员第一时间检修，保证轴承良好、高效的运行状态。同时通过更换润滑油，加装滤油器，减小油腔内液压波动以及报警系统等技术改造后，对润滑系统的运行状态进一步优化，避免机组以及油泵的运行中出现误报的情况，保证润滑系统的效率。

（二）注重风电场发电能力评估

大型发电场运行中要结合 SCADA 数据对风电机组的运行状态进行评估，并根据机组的运行性能、设备的检修状态以及环境的风力资源等构建评估模型，针对发电量和发电能力进行分析，并结合分析结果对风电机组的电量损失计算方式以及概率分布等绘制风力发电机组运行的功率曲线，对风力发电的性能进行评估。通过对风电机组的产能数值进行量化的方式，有利于查找影响电力产量的主要因素，可以形成更有效的技术整改方向，保证风电的产能。此外，在对比分析的过程中还可以采用综合评价方式，对不同地区的相同机型，相同地区的不同机型发电运行能力进行对比，保证风力发电系统机型匹配的科学性。并制定风力发电机的运行状态模型和预警机制，及时发现风力发电系统运行中存在的安全隐患，保证风力发电机组的安全有序运行。

（三）加强风力发电机运行的日常维护

大型风电场发电运行中要达到提质增效的效果，需要加强日常维护管理。风力发电机在运行中容易因为内外部因素影响造成设备运行故障，一旦出现故障后要及时查找故障记录，并针对故障设置相应的代码，并进行现场处理。风力发电机运行线路维护，首先通过看的方式观察风力发电机电缆线路的结构情况，查看线路连接是否存在移位、松动或者破损等问题，并观察各种元器件的结构，是否存在放电的痕迹，以及发电机与相应器件间的接触情况是否合理，压力运行是否科学，各相邻器部件间是否存在磨损等。其次，动手操作管理。测试人员可以通过对设备的动手操作检验，确定大型风电场发电运行是否合理，针对不良情况采取相应的处理措施。工作人员间可以通过互相学习与交流的方式，不断积累经验，提升大型风电场发电运行效率。

（四）加强政策管理与优化

大型风电场发电运行中可以充分借鉴国外的风力发电经验，合理确定电力系统的电压，结合不同的电压等级制定风力发电的技术标准。做好风电与市场间的协调，并将电源与电网形成统一的规划形式，促进风电与电网的协同发展。此外，还可以构建风电规划措施，在风力发电施工前先做好前期的调研工作，并优化施工设施。针对风力发电系统做好调试、验收和试运行，加强管理的规范性。同时风电场内部设备的类别比较多，设备管理同样重要，及时发现设备运行的隐患，并采取有效的整改措施。加强电场内部制度的优化，提升整体运营水平，以及风电场信息的采集效率，做好风电场调度。

（五）加强现有技术支持

大型风电场发电运行中，电缆头是故障发生率比较高的位置，为了保证发电运行提质增效，可以加强对电缆终端的优化。将电缆头用铜排线替代，并利用户外变压器做好对谐波预防和改进，防止大型风电机组脱网，促进新国标的有效落实。同时加强对风机低电压穿越的优化，根据不同地区电网结构设置穿越导则。此外，设置动态无功补偿装置，比如静止无功发生器等，保证风电场无功容量的储备。风电场的继电保护配置设置方面，要结合风电场的弱馈电特点，采取科学的线路保护方式。

（六）创新风电场发电运行管理技术

大型风电发电设备运行中为了达到提质增效的目的，首先要做好对风电场布局的优化，根据风电场的气候和地理条件等，科学选择建设地址，并针对周围环境科学布局，保证风电机运行的有效性。同时加强对风力预测技术的优化，构建风力测试模型，并利用现代化技术手段保证测试数据的精确性，有利于对风能变化情况的预测。此外，利用先进的控制技术手段，保证控制系统设计的安全性。可以利用智能化的控制手段保证电机运行的可靠性，并利用智能检测技术，帮助管理人员对各节点的运行情况进行检测，及时发现系统的故障点，采取相应的措施进行改进和维护。通过数据采集软件，加强对风电场系统中各节点的数据采集和集中分析。

五、结语

综上所述，大型风电场发电运行可以有效缓解能源危机，实现绿色电业发展。但是从当前的风电场发电运行情况来看，其中仍然存在诸多的问题，影响发电场的运行效率。因此需要结合大型风电场的发电运行状态采取相应的改进措施，降低故障发生率，减少电力传播损耗，促进风电场的健康、长效发展。

参考文献

[1] 韩常仲. 浅析大型风电场发电运行提质增效技术［J］. 中国设备工程，2021(8):202-205.

[2] 赖永林. 大型风电场发电运行提质增效技术探讨［J］. 产业创新研究，2021(2):78-80.

[3] 张硕. 浅析大型风电场发电运行提质增效技术［J］. 建筑工程技术与设计，2021(20):2208.

[4] 张陆. 大型风电场发电运行提质增效技术探究［J］. 探索科学，2021(6):292.

[5] 常啸. 风电产业提质增效技术探索研究［J］. 建筑技术，2023,54(24):2971-2973.

化学运行在国电投火电厂环保减排中的作用研究

马军，王依林

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 毕节 551500

摘　　要： 随着全球气候变化和环境污染问题的日益严峻，火电厂作为主要的碳排放源之一，面临着巨大的环保压力。国电投火电厂作为国内重要的能源供应基地，积极响应国家环保政策，不断推进节能减排工作。化学运行在火电厂环保减排中扮演着重要角色，通过优化化学处理过程、提高能源利用效率、减少污染物排放等手段，为火电厂的环保减排工作提供了有力支持。本文旨在探讨化学运行在国电投火电厂环保减排中的作用，分析其具体应用和效果，为火电厂的环保工作提供参考。

关 键 词： 化学运行；火电厂；环保减排

Research on the role of chemical operation in environmental protection and emission reduction of Guodian Thermal power Plant

Ma Jun, Wang Yilin

Guizhou Qianxi Central Water Power Generation Co., LTD. Bijie, Guizhou 551500

Abstract: With the increasingly severe global climate change and environmental pollution problems, thermal power plants, as one of the main carbon emission sources, are facing great environmental protection pressure. As an important energy supply base in China, the thermal power plant of Guodian Power Investment Corporation actively responds to the national environmental protection policies and continuously promotes the energy conservation and emission reduction work. Chemical operation plays an important role in the environmental protection and emission reduction of thermal power plants. By optimizing the chemical treatment process, improving the energy utilization efficiency and reducing the pollutant emission, it provides strong support for the environmental protection and emission reduction work of thermal power plants. This paper aims to discuss the role of chemical operation in the environmental protection and emission reduction of the thermal power plant, analyze its specific application and effect, and provide reference for the environmental protection work of the thermal power plant.

Keywords: chemical operation; thermal power plant; environmental protection and emission reduction

火电厂作为能源转换的重要设施，其环保减排工作对于实现可持续发展具有重要意义。国电投火电厂作为国内能源行业的领军企业，一直致力于推动节能减排工作，积极响应国家环保政策。化学运行在火电厂的生产过程中起着至关重要的作用，通过优化化学处理过程，可以提高能源利用效率，减少污染物排放，为火电厂的环保减排工作提供有力支持。

一、火电厂工作原理及能耗特点

（一）火电厂的基本工作原理

火电厂，又称燃煤电厂，是利用煤、石油、天然气等燃料生产电能的工厂。其基本工作原理是燃料在锅炉中燃烧，将其化学能转化为热能，进而加热锅炉中的水产生高温高压蒸汽；蒸汽通过汽轮机又将热能转化为机械能，驱动发电机旋转，最终输出电能。锅炉是火电厂中的关键设备，它负责将燃料的化学能转化为热能，并加热锅炉中的水产生蒸汽[1]。锅炉通常由燃烧室、受热面和烟道等部分组成。汽轮机是火电厂中将热能转化为机械能的主要设备。蒸汽进入汽轮机后，通过一系列环形喷嘴和动叶栅，将热能转化为推动汽轮机转子旋转的机械能。发电机与汽轮机通过联轴器相连，汽轮机转子旋转时带动发电机转子旋转，进而在发电机定子中产生感应电流，将机械能转化为电能。控制系统负责监控和调节火电厂中各个设备的运行状态，确保火电厂的安全、稳定运行。此外，火电厂还配备有主变压器、配电装置、给

作者简介：马军（1994-），男，汉族，贵州省遵义市人，学历大专，职称：助理工程师，研究方向：火电厂化学运行；

通讯作者简介：王依林（1994-），女，汉族，贵州省贵阳市人，学历大专，职称：助理工程师，研究方向：火电厂化学运行。

水系统、供水设备、水处理设备、除尘设备、燃料储运设备等辅助设备，这些设备共同协作，完成电能的生产和输送任务。

（二）火电厂在运行过程中的能耗特点

火电厂发电所需的燃料主要是煤炭，目前发电用煤约占全国煤炭总产量的较大比例，这使得火电厂的煤耗量非常大。火电厂中的动力设备繁多，包括锅炉、汽轮机、发电机等，这些设备的运行和维护都需要消耗大量的能源。由于动力设备繁多且复杂，火电厂的运行费用也相对较高[2]。这包括设备维护费用、燃料费用、水费、电费等。火电厂在运行过程中产生的固体排放物主要包括粉煤灰和炉渣。粉煤灰是煤燃烧后产生的细灰，炉渣则是煤燃烧后剩余的固体残渣。这些固体排放物若不妥善处理，会对环境造成污染。气体排放物主要包括二氧化硫（SO_2）、氮氧化物（NOx）、一氧化碳（CO）和烟尘等。这些气体排放物对大气环境造成污染，其中二氧化硫和氮氧化物是形成酸雨的主要物质，对人体健康和生态环境都有严重影响。火电厂在运行过程中会产生大量的废水，包括冷却水、锅炉排污水、冲灰水等。这些废水若不经过妥善处理直接排放，会对水体造成污染。

二、化学运行在火电厂中的具体任务

（一）汽水品质监督与控制

汽水品质是火电厂运行安全、稳定的基础。化学运行人员需密切监测锅炉给水、炉水、凝结水、蒸汽等汽水系统的水质指标，包括硬度、碱度、pH值、溶解氧、硅酸盐等，确保这些指标符合规定标准[3]。一旦发现水质异常，应立即采取措施进行调整。加药处理是调节汽水品质的重要手段。例如，向锅炉给水中添加磷酸盐可以防止锅炉受热面结垢；向凝结水中添加联氨可以除去溶解氧，防止腐蚀；向炉水中添加氢氧化钠可以维持炉水的pH值，减少酸性腐蚀。化学运行人员需根据水质监测结果，精准计算并添加适量的化学药品，以确保汽水品质稳定。此外，定期对汽水系统进行清洗和排污也是化学运行的重要任务。通过清洗，可以去除沉积在受热面上的垢层，提高传热效率；通过排污，可以排除系统中的悬浮物、胶体等杂质，保持水质清洁。

（二）废水处理与回收利用

火电厂在运行过程中会产生大量废水，包括冷却水、冲灰水、锅炉排污水等。这些废水中含有各种有害物质，如重金属、悬浮物、有机物等，若直接排放会对环境造成严重污染[4]。化学运行人员需对各类废水进行化学处理，去除其中的有害物质。例如，通过混凝、沉淀、过滤等物理化学方法去除悬浮物和胶体；通过氧化、还原、中和等化学反应去除有机物和重金属。处理后的废水需达到排放标准或具备回收利用的条件。废水的回收利用是节约水资源、减少环境污染的有效途径。化学运行人员需根据废水的性质和处理效果，制定合理的回收利用方案。例如，将冷却水回收用于其他工艺过程；将冲灰水回收用于制浆或冲灰；将锅炉排污水回收用于锅炉补水等。通过回收利用，可以大大减少废水的排放量，降低水资源消耗和环境污染。

（三）化学药品管理与使用

火电厂的化学运行中，化学药品的管理与使用至关重要。阻垢剂、缓蚀剂、杀菌剂等种类繁多，每种药品都有其特定的用途和效果。为确保电厂的稳定运行，化学运行人员需根据实际需求，制定详细的药品采购计划，并严格筛选供应商，确保所采购的药品质量达标[5]。在储存过程中，他们还需密切关注储存环境，如温度、湿度等，避免药品因环境因素而变质或失效。在使用这些药品时，化学运行人员必须严格遵守操作规程，确保安全、有效地发挥其作用。同时，他们还需详细记录药品的使用情况，包括使用量、使用时间、使用效果等，以便及时发现并处理潜在问题。这些记录也为后续的药品管理提供了重要的数据支持。

（四）设备维护与保养

化学处理设备在火电厂的化学运行中扮演着至关重要的角色。为确保其持续、稳定的运行，化学运行人员必须承担起定期维护和保养设备的责任。这包括全面检查设备的运行状态，及时发现并处理潜在问题；定期清洗设备内部，去除沉积物和其他杂质，以保证设备的顺畅运行；对损坏或老化的部件进行及时更换，防止因部件故障而影响整体设备的性能[6]。此外，为确保测量结果的准确性和可靠性，化学运行人员还需对设备进行定期的检测和校准工作。这要求他们具备专业的知识和技能，能够准确判断设备的性能状况，并采取有效的措施进行调整和优化。一旦发现设备出现故障或异常情况，化学运行人员需立即采取行动，迅速查明原因并进行处理，以防止事态的进一步恶化和扩大，确保火电厂化学运行的安全和稳定。

（五）环保减排与资源利用

环保减排是火电厂化学运行不可或缺的重要任务。为了降低能耗和排放物水平，化学运行人员必须不断优化化学运行方案。他们可以通过调整加药量、优化清洗和排污周期等精细操作，有效减少化学药品的消耗和废水的排放，从而减轻对环境的压力。同时，积极推广和应用先进的化学处理技术，如高效废水处理技术和资源回收技术等，可以显著提高资源利用效率，进一步减少环境污染。在资源利用方面，化学运行人员还应积极探索和实践废弃物资源化利用的新途径。例如，通过先进的处理技术，将废水中的有用物质提取出来，实现废水的再利用；对废渣进行无害化处理，或将其转化为其他工艺过程所需的原料，从而实现废渣的资源化利用[7]。这些努力不仅有助于减少环境污染，还能为火电厂的可持续发展做出贡献，实现经济效益和环境效益的双赢。通过这些措施，火电厂化学运行将在环保减排方面发挥更加积极的作用。

三、化学运行在火电厂环保减排中的作用

（一）优化水处理过程，减少水资源消耗

火电厂作为高耗水行业，其生产过程中需要大量的冷却水。冷却水的水质直接影响到冷却系统的效率和寿命，因此，优化水处理过程，提高水质，是减少水资源消耗、提升冷却系统性能的

关键。化学运行通过采用先进的水处理技术，如离子交换技术、反渗透技术等，可以有效去除水中的杂质和盐分，提高水的纯度[8]。离子交换技术利用离子交换树脂的交换功能，将水中的硬度离子（如钙离子、镁离子）置换为无害的钠离子，从而防止水垢的形成，延长冷却系统的使用寿命。反渗透技术则利用半透膜的选择透过性，只允许水分子通过，而将水中的盐分、有机物等杂质截留在膜外，实现水的深度净化。此外，化学运行还通过循环冷却水系统、废水回收利用等措施，进一步减少水资源的消耗。循环冷却水系统通过不断循环使用冷却水，减少了新鲜水的用量；废水回收利用则通过对废水进行适当处理，使其达到再利用的标准，从而实现了水资源的循环利用。

（二）控制锅炉水质，提高锅炉效率

锅炉是火电厂的核心设备之一，其运行效率直接影响到整个电厂的能源利用效率。锅炉水质的好坏对锅炉的效率和寿命有着重要影响。如果锅炉水中含有过多的杂质和盐分，就会在锅炉内部形成水垢，导致传热效率下降，能耗增加。化学运行通过监测和控制锅炉水质，可以确保锅炉内部不结垢、不腐蚀。这包括定期检测锅炉水中的硬度、碱度、pH值等指标，以及根据检测结果及时调整加药量，确保水质符合标准[9]。同时，化学运行还采用先进的防垢、防腐技术，如添加阻垢剂、缓蚀剂等，进一步防止水垢和腐蚀的发生。通过控制锅炉水质，不仅可以提高锅炉的传热效率，降低能耗，还可以减少锅炉的维修次数和维修成本，提高电厂的经济效益。此外，良好的锅炉水质还可以延长锅炉的使用寿命，减少因更换锅炉而产生的投资成本。

（三）减少烟气污染物排放

火电厂在燃烧过程中会产生大量的烟气污染物，如二氧化硫、氮氧化物等。这些污染物不仅对环境造成严重影响，还会对人体健康造成危害。因此，减少烟气污染物的排放是火电厂环保减排工作的重要任务。化学运行通过采用先进的脱硫、脱硝技术，可以有效减少烟气污染物的排放。脱硫技术主要包括石灰石－石膏湿法脱硫、氨法脱硫等[10]。其中，石灰石－石膏湿法脱硫技术是目前应用最广泛、技术最成熟的脱硫技术之一。它利用石灰石浆液与烟气中的二氧化硫进行反应，生成石膏等副产品，从而实现脱硫的目的。该技术的脱硫效率可达90%以上，显著降低了烟气中的二氧化硫浓度。脱硝技术主要包括选择性催化还原（SCR）技术、选择性非催化还原（SNCR）技术等。其中，SCR技术是目前应用最广泛的脱硝技术之一。它利用催化剂将烟气中的氮氧化物还原为氮气和水蒸气等无害物质，从而实现脱硝的目的。该技术的脱硝效率可达80%以上，有效降低了烟气中的氮氧化物浓度。通过采用先进的脱硫、脱硝技术，化学运行显著降低了火电厂的烟气污染物排放，改善了环境质量，为火电厂的可持续发展做出了贡献。

（四）固体废弃物处理与资源化利用

火电厂在生产过程中会产生大量的固体废弃物，如粉煤灰、炉渣等。这些废弃物如果处理不当，会对环境造成污染。因此，固体废弃物的处理与资源化利用是火电厂环保减排工作的重要组成部分。化学运行通过采用先进的固体废弃物处理技术，如粉煤灰综合利用技术、炉渣制砖技术等，可以实现固体废弃物的资源化利用。粉煤灰综合利用技术主要包括粉煤灰制砖、粉煤灰制水泥、粉煤灰混凝土等。这些技术可以将粉煤灰转化为建筑材料等有价值的产品，从而实现其资源化利用。炉渣制砖技术则是将炉渣经过破碎、筛分等处理后，与适量的黏土等原料混合制成砖块等建筑材料。通过固体废弃物的资源化利用，不仅可以减少环境污染，还可以为企业带来经济效益。同时，这些资源化利用产品还可以在一定程度上替代传统的建筑材料等资源，为社会的可持续发展做出贡献。

四、结论

化学运行在国电投火电厂环保减排中发挥着重要作用。通过优化水处理过程、控制锅炉水质、减少烟气污染物排放以及固体废弃物的资源化利用等手段，为火电厂的环保减排工作提供了有力支持。未来，随着科技的进步和环保政策的不断完善，化学运行在火电厂环保减排中的作用将会更加重要。国电投火电厂应继续加强化学运行的管理和技术创新，不断提高环保减排水平，为实现可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

[1]吴序芳，严建成，陈晨，等. 火电厂化学系统运行优化节能措施分析及应用［J］. 上海节能，2024,(07):1177-1182.

[2]韩欢欢. 火电厂在线化学仪表运行现状分析及维护研究［J］. 应用能源技术，2021,(03):29-32.

[3]程林. 火电厂化学水处理设备腐蚀问题处理对策研究［J］. 清洗世界，2020,36(07):15-16.

[4]陆海伟，张超，周庆岩，等. 火力发电厂化学运行优化与节能降耗措施探讨［J］. 节能与环保，2020,(05):32-33.

[5]郭新茹，石雪延. 火电厂运行锅炉化学清洗质量事故调查与分析［J］. 清洗世界，2018,34(04):5-9.

[6]高雪，杨晓雯. 火电厂在线化学仪表运行现状分析及维护探讨［J］. 山东工业技术，2018,(07):180.

[7]贾西部. 燃煤电厂湿法烟气脱硫化学专业的精细化管理［J］. 电站系统工程，2018,34(01):76-78+80.

[8]衡世权，李良，王飞. 火电厂在线化学仪表运行现状分析及维护建议［J］. 发电与空调，2017,38(04):43-46+55.

[9]何萍. 燃煤电厂化学实验室仪器仪表配置合理性探讨［J］. 科技创新与应用，2016,(35):5-6.

[10]黄忠理. 火电厂化学监督管理共性问题分析［J］. 化工管理，2016,(26):65+67.

新能源发展与节能降碳的协同关系探究

苏天庆

内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司电力分公司，内蒙古 通辽 029200

摘　　要： 近年来，随着科技的进步和政策的推动，新能源产业迎来了前所未有的发展机遇，而降碳技术的创新，为新能源的发展提供了有力支撑。鉴于此，本文详细分析新能源发展与节能降碳的协同关系，为实现经济社会可持续发展、有效应对气候变化提供积极支持。

关 键 词： 新能源发展；节能降碳；协同关系

Exploring the synergistic relationship between new energy development and energy saving and carbon reduction

Su Tianqing

Inner Mongolia Huomei Hongjun Aluminum Electricity Co., Ltd. Electric Power Branch, Tongliao, Inner Mongolia 029200

Abstract: In recent years, with the progress of science and technology and the promotion of policies, the new energy industry has ushered in unprecedented opportunities for development, and the innovation of carbon-reduction technology has provided strong support for the development of new energy. In view of this, this paper analyzes the synergistic relationship between new energy development and energy conservation and carbon reduction in detail, so as to provide positive support for the realization of sustainable economic and social development and effective response to climate change.

Keywords: new energy development; energy saving and carbon reduction; synergistic relationship

新能源发展是指对传统化石能源以外的各种新型能源进行开发、利用、推广的过程；节能降碳是指通过采取一系列措施，减少能源消耗和降低碳排放，实现可持续发展的目标。新能源发展与节能降碳的协同关系研究不仅有助于深化对新能源和节能降碳领域发展规律的认识，揭示两者之间的内在联系和互动机制，为制定科学合理的能源政策和环境政策提供理论依据，还能为新能源产业的健康发展和节能降碳技术的广泛应用提供策略建议，促进能源结构的优化升级和生态环境的改善，推动经济社会可持续发展。

一、新能源发展的特点

（一）资源丰富可再生

新能源的确拥有丰富的资源储备且可再生性强，以太阳能为例，太阳每天都会升起，向地球源源不断地输送着巨大的能量。据估算，地球表面每年接收的太阳能总量约为120000太瓦时，这是目前全球能源消耗总量的数千倍。即使在阴天或夜晚，太阳能也只是被暂时遮蔽或减弱，而非消失。在实际应用中，太阳能光伏发电技术已经越来越成熟，从家庭屋顶的小型光伏板到大型太阳能电站，太阳能正在为人们的生活和工业生产提供电力，在偏远地区，由于传统电网难以覆盖，太阳能发电系统成为当地居民获取电力的重要途径。地球上的风是由大气运动产生的，其能量同样巨大，在适宜的地区，风力发电机可以持续地将风能转化为电能，如在沿海地区和开阔的草原上，风力资源丰富，大量的风力发电场如雨后春笋般涌现。

（二）环保清洁无污染

新能源在使用过程中不产生有害物质，对环境的影响极小，在太阳能电池板将太阳能转化为电能的过程中，不会产生任何温室气体、污染物或噪音[1]。太阳能电站在运行过程中，可以避免每年数百万吨的二氧化碳排放，相当于种植了数百万棵树木的减排效果。风力发电机在运行时，除了轻微的机械噪音外，不会产生任何污染物。在生态敏感地区，如自然保护区、海岛等，风能发电成为首选的能源供应方式[2]。生物质能也是一种环保的新能源，主要来源于农作物秸秆、木材废料、城市垃圾等有机废弃物，通过燃烧或发酵等方式转化为能源，在这个过程中，虽然会产生一定量的二氧化碳，但由于这些生物质材料在生长过程中吸收了等量的二氧化碳，所以总体上实现了碳的零排放。

（三）技术多元且不断创新

新能源领域技术种类众多，太阳能技术包括光伏发电和光热发电两种主要形式；光伏发电利用半导体材料的光电效应将太阳

作者简介：苏天庆，身份证号码：150421198201191513，单位：内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司电力分公司。

能直接转化为电能，技术不断进步，电池板的转换效率不断提高，成本持续下降；光热发电则是通过聚光器将太阳能聚焦，加热工质产生蒸汽驱动汽轮机发电，具有储能优势，可以实现连续稳定的电力输出；风能技术有不同类型的风力发电机，如水平轴风力发电机和垂直轴风力发电机，各自具有不同的特点和适用场景，风能技术还在不断创新，如智能风机控制技术、风电场优化布局等，提高风能的利用效率和可靠性；生物质能技术包括生物质燃烧、生物质气化、生物质液化等多种方式，可以将不同类型的生物质材料转化为不同形式的能源。

二、节能降碳的特点

（一）跨领域协同合作

节能降碳涉及多个领域的跨界融合，这种协同合作机制带来了诸多优势。在能源领域，传统能源企业正积极转型，加大对可再生能源的开发和利用，如石油公司不仅在探索天然气等相对清洁的化石能源，还投资太阳能、风能等新能源项目[3]。互联网科技公司通过大数据分析和人工智能技术，优化能源管理系统，提高能源利用效率，如利用智能传感器实时监测能源消耗情况，为企业和家庭提供精准的节能建议。金融机构为节能降碳项目提供资金支持，包括绿色债券、绿色贷款等金融产品，如新能源汽车企业在研发和生产过程中，需要大量资金投入。银行可以通过发放绿色贷款，支持企业的发展，为自身带来长期稳定的收益。制造业通过采用先进的生产工艺和材料，降低能源消耗和碳排放；交通运输业则大力发展电动汽车、公共交通等绿色出行方式[4]。

（二）政策支持与引导

各国政府出台的一系列政策措施，为节能降碳项目的发展提供了有力保障。补贴政策是常见的激励手段，政府对购买新能源汽车、安装太阳能热水器等节能产品的消费者给予一定的补贴，降低消费者的购买成本，提高市场需求，如购买电动汽车可以获得高额的补贴，使电动汽车的价格与传统燃油汽车相比更具竞争力[5]。税收优惠政策能有效鼓励企业和个人参与节能降碳行动，对从事节能降碳项目的企业给予税收减免或优惠，如减免企业所得税、增值税等；对高耗能、高排放企业征收环保税等，促使企业加大节能降碳投入。政府还可以通过制定法规和标准，强制要求企业和个人遵守节能降碳的要求，通过采购政策，优先采购节能产品和服务，为市场树立榜样，在采购办公设备、交通工具等时，优先选择节能环保型产品[6]。

三、新能源发展与节能降碳的协同关系

（一）替代传统能源减少碳排放

随着全球对气候变化的关注不断增加，减少温室气体排放成为当务之急。传统化石能源在燃烧过程中会大量释放二氧化碳等温室气体，对环境造成严重破坏，而新能源的发展为解决这一问题提供了可行途径[7]。风能是一种重要的新能源，风力发电机利用自然风的动能转化为电能，同样不会产生温室气体，在沿海和风力资源丰富的地区，风力发电已经成为主要的电力来源。在福建平潭地区，风能作为一种重要的新能源，正在逐步替代传统能源，减少碳排放。平潭海峡因其独特的风力资源，成为了风力发电的理想场所，中国首个海上分散式风电项目——福建平潭海峡公铁两用大桥照明工程分散式海上风电项目，自全容量并网发电以来，发电量已突破7000万千瓦时。该项目装机容量33.5MW，年发电量约1.16亿千瓦时，每年可节约标煤3.3万吨，减少二氧化碳排放约9.6万吨。风力发电机利用自然风的动能转化为电能，这一过程无需消耗石化资源，也不会产生温室气体，通过优化风机叶片设计、使用先进的发电机控制系统等措施，提高发电效率，实现新能源发展与节能降碳的协同推进。

（二）提高能源利用效率

相比传统能源，新能源如太阳能、风能等能够更高效地转化为可用能量。太阳能光伏发电的效率虽然在不同技术和环境下有所差异，但总体上在不断提高，通过先进的光伏电池技术和优化的系统设计，太阳能的转化效率可以达到较高水平，如新型高效太阳能电池可以将更多的太阳能转化为电能，减少能量损失；风能发电也具有较高的能源利用效率，随着风力发电机技术的不断进步，其捕获风能的能力和转化效率不断提升[8]。新能源的分布式应用也有助于提高能源利用效率，在偏远地区或独立的建筑物中，安装小型太阳能发电系统或风力发电系统，可以实现就地发电、就地使用，减少了能源传输过程中的损耗。

（三）促进技术创新与产业升级

新能源的发展离不开技术创新，节能降碳也对技术创新提出了更高要求。在新能源领域，持续的技术创新，推动了太阳能、风能、生物质能等新能源技术的进步，如新型太阳能电池材料的研发、风力发电机的大型化和智能化、生物质能转化技术的创新等，都提高了新能源的利用效率和稳定性。节能降碳技术的创新也为新能源的发展提供了支持，高效能源储存技术可以解决新能源的间歇性问题，使新能源能够更稳定地供应电力；新能源与节能降碳领域的技术创新相互促进，推动相关产业的升级[9]。新能源产业的发展带动了光伏制造、风电设备制造、储能技术等领域的发展，形成了庞大的产业链。节能降碳产业不断壮大，包括节能设备制造、能源管理服务、碳捕获与封存技术等，提高了经济发展的质量，为环境保护做出了贡献，国家可以通过大力发展新能源和节能降碳产业，实现经济可持续增长，促进产业结构优化升级。

（四）形成新的经济增长点

新能源与节能降碳产业具有巨大的发展潜力，为经济增长提供了新的动力。随着全球对清洁能源的需求不断增加，新能源产业迎来了快速发展的机遇，太阳能、风能、生物质能等新能源领域的投资不断加大，带动了相关产业的发展，如光伏产业的发展创造了大量的就业机会，带动了硅材料、光伏组件制造、安装和维护等上下游产业的发展；风电产业也同样如此，风力发电机制造、风电场建设和运营等环节都需要大量的人力和物力投入[10]。节能降碳产业也成为新的经济增长点，节能设备制造、能源管理服务、碳交易等领域的市场规模不断扩大，企业通过采用节能设

备和技术，可以降低能源成本，提高经济效益。碳交易市场的发展为企业提供了新的盈利渠道，鼓励企业积极参与碳减排行动，新能源与节能降碳产业的发展，有助于环境保护，创造就业机会，促进经济增长。

（五）推动全球能源转型

全球能源转型是应对气候变化、实现可持续发展的必然选择，新能源与节能降碳的协同发展，为全球能源转型提供了有力支撑。新能源的广泛应用可以逐步改变传统的能源结构，降低对化石能源的依赖，节能降碳技术的推广可以提高能源利用效率，减少能源消耗和碳排放。如国家制定了明确的能源转型战略，加大对新能源的投资和支持力度，加强节能降碳措施的实施。在全球范围内，各国也在加强合作，共同推动新能源与节能降碳的发展，通过国际合作项目，分享新能源技术和经验，共同应对气候变化挑战。新能源与节能降碳的协同发展有助于构建绿色低碳的未来社会，未来，清洁能源将成为主要的能源来源，能源利用效率将大幅提高，碳排放将得到有效控制。目前我国城市正在努力打造零碳城市，通过推广新能源交通、建设智能能源系统等措施，实现城市的可持续发展。

四、结束语

通过以上分析得出以下结论：新能源具有资源丰富可再生、环保清洁无污染等特点，能够逐步替代传统化石能源，减少温室气体排放，为应对气候变化提供有力支持。通过技术创新和产业升级，提高新能源的转化效率和利用水平，优化能源消费结构，降低能源消耗和碳排放强度，是实现节能降碳目标的重要手段。

参考文献

[1]尹伟. 可持续发展战略背景下电力新能源的开发利用与节能措施［J］. 自动化应用，2023,64(S2):32-34.

[2]孔令峰，岳小文. 中国石油新能源发展路径探索与创新实践［J］. 石油科技论坛，2024,43(1):25-30.

[3]李艺，张琳. 能源转型背景下传统能源与新能源发展的思考［J］. 电力勘测设计，2020,(04):66-71.

[4]宋婷婷. 能源转型背景下传统能源与新能源发展的思考［J］. 经济与社会发展研究，2023(10):232-235.

[5]黄正，钱之火，张海峰，等. 公路基础设施典型节能降碳技术减碳能力分析及应用［J］. 交通节能与环保，2024,20(4):119-122.

[6]毕彩霞，刘敬群，刘德生，等. 新型节能降碳减氮燃烧器的应用及效果分析［J］. 中国设备工程，2024(z2):229-231.

[7]杨波，陈国荣，李强，等. 基于“两化”融合钒氮合金生产增效节能降碳［J］. 铁合金，2024,55(2):24-31.

[8]孙越，马千水，任祥云，等. 油田天然气全流程节能降碳技术研究与应用［J］. 石油石化节能与计量，2024,14(7):108-114.

[9]付佩，兰利波，陈颖，等. 面向2035的节能与新能源汽车全生命周期碳排放预测评价［J］. 环境科学，2023,44(4):2365-2374.

[10]卢波. 电气节能减排措施与光伏新能源技术应用浅析［J］. 电力设备管理，2024(6):271-273.

数字化转型背景下火电项目安全管理的挑战与机遇

张杰

上海能源科技科技发展有限公司，上海 200233

摘　　要： 本文探讨了数字化转型背景下火电项目安全管理所面临的挑战与机遇。通过分析技术更新、数据安全和运营管理等挑战，以及提高运营效率、拓展市场渠道和创新商业模式等机遇，提出了优化策略，并强调了数字化转型在推动火电项目安全管理升级、提升竞争力和实现可持续发展方面的重要作用。

关 键 词： 数字化转型；火电项目；安全管理；挑战；机遇；优化策略

Challenges and opportunities for safety management of thermal power projects in the context of digital transformation

Zhang Jie

Shanghai Energy Science and Technology Development Co., Ltd. Shanghai 200233

Abstract: This paper discusses the challenges and opportunities faced by the safety management of thermal power projects in the context of digital transformation. By analyzing the challenges of technology refresh, data security and operation management, as well as opportunities such as improving operational efficiency, expanding market channels and innovating business models, the optimization strategy is proposed, and the important role of digital transformation in promoting the safety management upgrade, competitiveness and sustainable development of thermal power projects is highlighted.

Keywords: digital transformation; thermal power projects; security management; challenge; opportunity; optimize your strategy

随着全球能源结构的调整和低碳发展趋势的加速，火电项目在设备管理、故障管理、风险隐患排查等方面面临前所未有的挑战。数字化转型成为提升火电项目安全管理水平、实现高效、稳定、环保运行的关键途径。本文旨在深入分析数字化转型背景下火电项目安全管理的挑战与机遇，并提出相应的优化策略。

一、数字化转型带来的挑战

（一）技术更新与设备兼容性

数字化转型浪潮汹涌澎湃，对火电项目提出了严峻的技术更新与设备兼容性挑战。在这个日新月异的数字化时代，火电企业必须紧跟技术发展的步伐，不断更新设备，以确保能够高效、安全地融入这一变革之中。然而，现实却往往充满了困难。一方面，新的数字化系统和设备不断涌现，它们采用更为先进、高效的技术架构，为火电项目的智能化、自动化提供了强大的支持。另一方面，传统的发电设备在设计之初并未充分考虑到数字化的需求，导致它们与新系统之间可能存在兼容性问题。这种不兼容不仅增加了技术更新的难度，还可能导致项目延误、成本超支等一系列连锁反应，严重阻碍了火电项目的数字化转型进程[1]。因此，如何在技术更新与设备兼容性之间找到最佳平衡点，确保数字化转型的顺利进行，成为了火电企业当前面临的重要课题。

（二）数据安全与隐私保护

火电项目的数字化转型进程中，数据的收集、存储和处理规模呈现爆炸式增长，这对数据的安全性和隐私保护提出了前所未有的挑战。在这个数据为王的时代，火电企业不仅要面对来自外部的黑客攻击、病毒入侵等安全威胁，还要警惕内部人员的不当操作或泄露风险。数据安全不仅关乎企业的核心竞争力和商业机密，更直接关联到广大用户的隐私权益。一旦数据保护出现漏洞，导致敏感信息泄露，不仅可能引发用户恐慌和社会舆论的强烈谴责，还可能使企业面临巨额的赔偿、法律诉讼以及声誉受损等多重打击。

（三）运营管理与人才短缺

数字化转型如同一场深刻的革命，对火电项目的运营管理方式产生了颠覆性的影响。这一转型不仅要求企业在技术层面进行革新，更需要在组织架构、业务流程、管理理念等多个维度进行全方位的调整。然而，在推进这一转型的过程中，火电企业普遍

作者简介：张杰（1972.04-），男，汉族，河北省石家庄市，大学本科，工程师，研究方向：火电/风电（新能源）安全管理。

遭遇了一个棘手的难题——数字化人才的短缺。这些数字化人才不仅需要具备深厚的数字化技术功底，能够熟练掌握并运用各种先进的数字化工具和方法，还需要对火电行业的运营特点和业务流程有深入的了解和独到的见解。然而，由于人才培养和引进的滞后，火电企业在数字化转型的道路上往往感到捉襟见肘，难以找到足够数量的高素质数字化人才来支撑企业的转型需求。这种人才短缺的状况，不仅限制了火电企业数字化转型的步伐，更使得企业在面对新的运营挑战时显得力不从心[2]。

二、数字化转型带来的机遇

（一）提高运营效率

数字化转型为火电项目运营效率的飞跃提供了前所未有的契机。在生产端，智能监控系统如鹰眼般敏锐，实时捕捉设备运行的每一个细微变化，提前预警潜在故障，确保生产线的连续稳定运行，大幅减少了因设备故障导致的非计划停机时间。销售环节，数字化平台如桥梁般连接起企业与市场，通过大数据分析精准描绘客户画像，优化销售策略，实现产品与需求的无缝对接，市场响应速度显著提升[3]。而在物流领域，智能物流系统仿佛智慧的大脑，自动规划最优运输路线，精准预测库存需求，有效降低了运输成本和库存积压，为企业节省了大量宝贵资源。

（二）拓展市场渠道

数字化转型如同一把钥匙，为火电项目打开了通往全球市场的大门。借助电子商务平台、社交媒体、在线营销工具等数字化平台，火电企业能够轻松跨越地域的界限，将优质的产品和服务推向全球每一个角落。这些数字化平台不仅拥有庞大的用户基础，为企业提供了广阔的市场空间，还通过先进的数据分析和个性化推荐技术，帮助企业深入挖掘客户需求，优化产品和服务设计，提升市场竞争力。与此同时，数字化平台也为企业与客户之间搭建起了直接互动的桥梁。通过在线咨询、客户反馈等互动方式，企业能够及时了解客户的意见和建议，增强客户粘性，提升品牌忠诚度。

（三）创新商业模式

数字化转型如同一股强劲的风暴，为火电项目商业模式创新带来了前所未有的机遇。在数字化浪潮的引领下，火电企业得以突破传统销售和服务的框架，勇敢探索订阅经济、共享经济等前沿商业模式。订阅经济模式下，企业仿佛拥有了定制化服务的魔法棒，能够根据客户的个性化需求，提供量身定制的解决方案，从而建立起长期稳定的客户关系。而共享经济模式，则如同资源优化的魔术师，通过高效整合和共享闲置资源，大幅提高了资产利用率，有效降低了运营成本。这些新型商业模式的实践，不仅满足了消费者日益增长的多样化需求，更为火电企业增添了新的市场竞争力，开辟了全新的增长点[4]。

三、数字化转型背景下火电项目安全管理的优化策略

（一）加强技术更新与设备兼容性

在数字化转型的大背景下，火电项目安全管理迎来了新的机遇与挑战。为了确保安全管理的高效与可靠，火电企业应积极拥抱新技术，不断推进技术更新与设备升级。一方面，企业应密切关注行业动态，及时引进先进的数字化技术和管理系统，如智能监控系统、大数据分析平台等，以提升火电项目的智能化水平。这些新技术能够实现对生产过程的实时监测和预警，有效预防安全事故的发生。另一方面，火电企业在引进新技术和设备时，还需充分考虑其与现有数字化系统的兼容性。通过技术评估和测试，确保新设备能够无缝接入现有系统，实现数据的共享和协同。这不仅可以避免信息孤岛的产生，还能提高安全管理系统的整体效能，确保各项安全措施能够得到有效执行。

（二）强化数据安全与隐私保护

在数字化转型的浪潮中，火电项目安全管理面临着数据安全与隐私保护的严峻挑战。为了保障企业核心资产和用户隐私的安全，火电企业必须建立完善的数据安全体系，将数据安全管理和隐私保护纳入日常运营的重要议程。一方面，企业应采用先进的加密技术和安全协议，对敏感数据进行加密处理，确保数据在传输和存储过程中的安全性[5]。这不仅可以有效防止数据泄露，还能抵御来自黑客的恶意攻击。另一方面，火电企业还需加强数据访问权限的管理，建立严格的访问控制机制，确保只有经过授权的人员才能访问敏感数据。同时，企业还应定期对数据进行备份和恢复测试，以防止数据丢失或损坏。此外，火电企业还应加强员工的数据安全意识培训，提高员工对数据安全和隐私保护的认识和重视程度。

（三）培养数字化人才与提升员工技能

在数字化转型的背景下，火电项目安全管理对人才的依赖程度日益加深。为了确保安全管理的高效与可靠，火电企业必须加大对数字化人才的培养和引进力度，为企业的数字化转型提供有力的人才保障。一方面，火电企业应积极引进具备数字化技能和经验的优秀人才，他们不仅能够快速适应数字化环境，还能为企业带来新的思维和方法，推动安全管理水平的提升。另一方面，企业还应加强对现有员工的培训和教育，提升他们的数字化技能和素养。通过定期的培训课程、实践操作和案例分享，使员工逐步具备数字化思维，能够熟练运用数字化工具进行安全管理。这不仅有助于提升员工的工作效率，还能增强他们对数字化安全风险的识别和应对能力[6]。此外，火电企业还应建立激励机制，鼓励员工积极参与数字化学习和实践，形成良好的学习氛围。

四、数字化转型的推动作用

（一）推动安全管理升级

数字化转型对于火电项目的安全管理而言，无疑是一次革命性的升级。在数字化转型的推动下，火电项目能够借助先进的数字化系统和智能设备，实现安全管理的智能化和自动化[7]。这不仅极大地提高了安全管理的效率，还显著提升了其准确性。通过数字化系统的实时监测功能，火电项目能够全天候、全方位地监控生产过程中的各项安全指标。一旦发现异常或潜在的安全隐患，系统能够立即发出预警，使相关人员能够迅速采取措施进行

处理，从而有效避免事故的发生。这种智能化的安全管理方式，不仅降低了事故发生的概率，还减轻了安全管理人员的工作压力，使他们能够更加专注于提升安全管理水平。此外，数字化转型还有助于火电项目实现安全管理的标准化和规范化。通过制定统一的安全管理标准和流程，确保各项安全措施能够得到有效执行，进一步提高火电项目的安全管理水平。因此，数字化转型对于火电项目的安全管理升级具有至关重要的推动作用。

（二）提升竞争力

数字化转型为火电项目带来了显著的竞争优势，使其能够在激烈的市场竞争中脱颖而出。通过数字化手段，火电项目能够更加灵活地应对市场变化，及时调整生产计划和销售策略，以满足客户的需求[8]。在运营效率方面，数字化转型推动了火电项目的自动化和智能化进程，减少了人工干预和误差，提高了生产效率和资源利用率。这不仅降低了企业的运营成本，还提升了产品质量和服务水平，增强了客户的满意度和忠诚度。在成本控制方面，数字化转型通过数据分析和预测，帮助企业实现更精准的资源配置和成本管控。企业能够实时监控各项成本指标，及时发现和纠正成本偏差，确保成本控制在合理范围内。综上所述，数字化转型通过提升火电项目的运营效率和服务质量，优化资源配置和成本控制，显著提高了企业的盈利能力和市场竞争力。这不仅是火电项目适应市场变化、实现可持续发展的必然选择，也是其在市场竞争中保持领先地位的重要支撑。

（三）实现可持续发展

数字化转型在推动火电项目实现可持续发展方面发挥着至关重要的作用。随着环保意识的日益增强和能源结构的不断优化，火电行业面临着巨大的转型压力。而数字化转型，正是破解这一难题的关键所在。通过数字化系统的优化和控制，火电项目能够实现对生产过程的精细化管理，有效降低能源消耗和污染物排放。数字化系统能够实时监测和分析各项环保指标，及时发现和解决环保问题，确保企业的生产活动符合国家的环保标准和要求。此外，数字化转型还有助于火电项目探索新的能源利用方式，推动火电行业向更加环保、可持续的方向发展。例如，通过数字化手段优化燃烧过程，提高燃烧效率，减少废弃物的产生；或者利用数字化技术开展余热回收和再利用，进一步提高能源利用效率[10]。因此，数字化转型不仅是火电项目提升运营效率和市场竞争力的重要手段，更是实现可持续发展、推动绿色转型的必由之路。火电企业应积极拥抱数字化转型，为实现更加环保、可持续的能源未来贡献自己的力量。

五、结论

数字化转型为火电项目安全管理带来了诸多挑战与机遇。火电企业应积极应对挑战，加强技术更新与设备兼容性、强化数据安全与隐私保护、培养数字化人才与提升员工技能。同时，应抓住机遇，推动安全管理升级、提升竞争力和实现可持续发展。通过数字化转型，火电项目将能够更加高效、安全、环保地运行，为我国能源供应和经济发展做出更大的贡献。

参考文献

[1]马雄飞. 火电项目厂外工程安全管理［J］. 电力安全技术，2019,21(07):7-10.

[2]张平. 火电厂总承包项目安全管理存在的问题及改进对策［J］. 低碳世界，2017,(30):138-139.

[3]安金平. 浅谈对火电项目施工安全管理工作的认识［J］. 工程建设与设计，2017,(16):176-177.

[4]高伟峰. 关于火电项目 EPC 工程总承包的安全管理探讨［J］. 科技创新与应用，2017,(03):277.

[5]邹宏亮. 浅谈火电施工项目管理的主要环节和要点［J］. 科技资讯，2016,14(08):47+49.

[6] 崔海华，吴学锋，邓友晶. 火电项目 EPC 工程总承包的安全管理探讨［J］. 中国高新技术企业，2015,(11):191-192.

[7]徐志辉. 火电项目的施工安全管理［J］. 电力安全技术，2011,13(06):47-4.

[8]赵勇，郭震，冀瑞华，等. 国际火电项目安全管理机制创新［C］//中国电力企业管理创新实践（2019年）.印尼明古鲁发电有限公司，2020:3.8

[9]马彬. 基于全寿命周期理论的火电项目节能优化规划管理研究［D］. 华北电力大学（北京）,2020.

[10]王明毅，贾东坡，雷林飞. 国际工程 EPC 火电项目精细化管理研究［J］. 山西建筑，2019,45(19):180-181.

浅谈以可靠性为中心的火电基建期管理

常世鹏

中电永新运营有限公司，越南 平顺省

摘　　要： 火电机组的可靠性指标不仅与机组日常的运行维修、现场管理水平有关，而且与设备制造质量、安装质量、调试质量水平等相关，因此，提高机组的可靠性指标，需在基建期从设计、设备制造、安装、调试等环节综合考虑，使发电机组在全寿命周期内实现较高的可靠性要求。本文将影响各个环节主要因素归纳总结，共分为设备、技术和管理三方面，从这三个方面提出了一些提高可靠性管理的具体措施，以提高火力发电厂的可靠性。

关 键 词： 火力发电厂；可靠性；管理；基建期

Discussion on reliability-centered management of thermal power infrastructure period

Chang Shipeng

CHINA Power Vinh Tan Company Limted, Binh thu province, Vietnam

Abstract: the reliability index of thermal power unit is not only the operation of the unit and daily maintenance, site management level, and equipment manufacturing quality, installation, debugging, such as related to the level of quality and, therefore, improve the reliability of the unit, in construction period from the design, equipment manufacture, installation, debugging, taken together, make the generating set in the whole life cycle to achieve a higher reliability requirements. In this paper, the main factors affecting each link are summarized, which are divided into three aspects: equipment, technology and management.

Keywords: thermal power plant; reliability; management; infrastructure period

引言

火力发电厂可靠性管理是电力安全生产的重要内容，是用系统工程的观点对设备的可靠性进行分析，以达到延长设备的使用周期，减低设备的维护费用的目标[1]。发电厂安全可靠性管理工作进入中国企业已经有20多年的时间，目前管理者对安全可靠性的认识在逐步提高，可靠性管理工作也越来越深入，不再只是在设备运行维护阶段进行可靠性管理，而是从电厂设计、建设、安装、调试阶段就以可靠性为中心进行项目管理。就做好设备运行可靠性管理的途径进行了分析，通过强化设备管理人员的可靠性管理意识，健全和优化火力发电厂设备运行可靠性管理规章制度体系，做好主、辅机设备的运行可靠性管理工作，加强人员的培训工作方面提高设备运行的可靠性管理。通过评价设备运行中存在的问题，运用量化评估的方法，评价设备的制造质量、安装质量、运行质量、检修质量及管理水平，分析和解决设备问题，利用理念积累的可靠性数据，知道设备的选型，从而提高设备可靠性。依据可靠性评估的基础理论，通过对发电设备可靠性定量分析建模，指标数据筛选和获取，建立了健全了设备可靠性体系，不断完善可靠性管理信息，为可靠性管理工作奠定基础。

越南某BOT项目实行“两部制”电价计费方式，机组的可靠性不仅关系机组的安全问题，而且关系到BOT公司容量电费的收益，与本项目的经济收益密切相关。根据与越南电网调度签订的购电协议，本项目25年运营期的年可用小时数平均值为7446.8小时，比国内大部分金牌机组还高一些，对机组的可靠性要求更为苛刻。本文对影响机组的可靠性因素进行分析，并分析了机组可靠性薄弱之处，提出了可行的措施提高了机组的可靠性。

一、可靠性的影响因素分析

（一）设备方面

设备的制造单位、单机容量、设备的寿命、设计和制造日期、定期维修、备品配件的供应、环保要求等，对设备的可靠性，都有很大的影响[2]。

（二）技术方面

1.设计及技术上因素

在设计及技术上，是否考虑周密，直接影响机组的可靠性。在设计时就要考虑快速检测和采取便于运行人员寻找故障地点的

作者简介：常世鹏（1990.02-），宁夏中卫人，男，工程师，本科，研究方向：节能与可靠性管理。

诊断技术，这样强迫停运率就会减小很多。

2.采用成熟经验

设备经运行较长时间的考验而未曾发生故障，那就不要轻易作任何修改。成熟的设计是设备可靠性的有力保证。

3.把握采购、安装和调试阶段

设备出现故障也可能是由主机制造质量差和安装调试造成的。在采购配套阶段一定要选择质量好，性能匹配的辅机。从单机调试，整台机组启动直至带额定负荷的调试工作一定要层层把关。

（三）管理方面

1.完善管理制度

现代化管理工作需要通过制度的完善健全来发挥。管理制度在一定程度上发挥导向作用，以多种制度细则来激励与约束员工的工作行为。

2.人员培训工作

人为误操作是强迫停运主要原因之一。除了应编制严格的现场运行操作规程外，应有计划地定期组织培训，如举办各种专业培训班使设计意图真正为操作人员所掌握。

二、可靠性的薄弱环节分析

火电厂发电设备的不可用时间包括计划停运时间和非计划停运时间两部分[3]。预防维修包含计划停运，而非计划停运则属于事故维修。根据中电联提供的数据分析，三大主机的非计划停运时间占火电机组非计划停运时间的84.74%-98.34%,其他子系统及所有辅机的非计划停运时间占火电机组非计划停运时间的 5.76%-19.18%。

（一）锅炉可靠性的脆弱环节分析

根据锅炉及其主要设备的非停时间占其总非停时间的具体比重结果，能够发现其省煤器、水冷壁和过热器以及再热器等相关设备而导致非停时间占总非停时间的，即说明上述部件是锅炉可靠性最脆弱的部分[4]。

（二）汽轮机可靠性的脆弱环节分析

根据汽轮机设备的非停时间占其总非停时间的具体比重结果，能够发现其转子设备、动叶片以及润滑油系统等主要部件而导致非停时间占总非停时间的，于汽轮机可靠性而言，部件与子系统是其最脆弱的部分。

（三）发电机可靠性的薄弱环节分析

通过分析发电机部件考核事故次数，可以得知，造成发电机事故次数比较多的前5位事故名称依次为：定子线圈绝缘击穿、短路和过热，水内冷系统漏水和断水，转子接地、匝间短路和断裂，发电机漏氢和氢爆炸，电刷及滑环的过热和冒火。这5种事故的次数占发电机事故总次数的93%以上，发生这些事故的部件和子系统是发电机可靠性的薄弱环节。

（四）机组辅机可靠性薄弱环节

通过分析主要辅机可靠性指标，能够发现磨煤机、给水泵、高压加热器的可靠性较差，磨煤机主要非停原因是：漏粉、堵塞、其它、断裂；给水泵主要非停原因是：其它、漏水、振动大、漏油；高加主要非停原因为：漏水、其它爆（泄）漏、裂纹（开裂）、腐蚀。说明上述设备为主要辅机的薄弱部分。

三、主要措施

针对于机组的可靠性薄弱环节及重要要辅机设备，从设备、技术、管理三方面入手，在设计、设备制造、安装、调试阶段采取了以下措施，来提高机组可靠性[5]。

（一）设计优化阶段

1.锅炉方面采取下措施

1）联系锅炉制造厂家根据煤种进行了卫燃带优化设计，去除翼墙部分卫燃带，以降低锅炉翼墙的结焦。

2）联系锅炉厂家在容易结焦的翼墙区域，增加了防结焦风。可以减弱翼墙区域结焦的情况，提高锅炉运行的可靠性。

3）在高过和高再的管屏的高温段均采用进口 TP347HFG（喷丸）材料（其材料的抗氧化性能大大优于 TP347H），从源头上可以有效的预防氧化皮的生成。

4）根据多个电厂高再的管屏悬吊处发生爆管情况，锅炉厂家对该处悬吊结构进行了优化可以有效的避免了拉裂的产生，确保了高再管屏的安全性。

5）在原设计基础上增加了一路从高加出口（给水平台前）引出的过热器辅助减温水管，增加了汽温的调节手段和灵活性，解决无烟煤燃烧低负荷时屏式过热器、高温过热器易超温问题。

6）以往的的除灰蒸汽管道采用是并联式，这样在吹灰枪投入的时候造成局部气阻，不利于管道疏水从而造成吹灰蒸汽带水吹伤受热面。为了解决这一问题，东锅在越南永新一期首次采用吹灰蒸汽母管式[6]。

7）根据国内同类似的电厂经验反馈，增加了防磨瓦块安装的范围，从而提高管子的抗磨损能力。

8）采用6台双进双出钢球磨煤机，磨煤机出力按锅炉最大连续蒸发量时的燃煤消耗量的125%，超过规程要求的115%选型要求，提高了制粉系统的可靠性。为保证下煤顺畅，在原煤仓内衬3mm的不锈钢衬板并采用不锈钢制双曲线金属小煤斗，并安装旋转清堵机。

9）除渣系统排渣量按灰渣量的15%计算，大于锅炉厂按10%灰渣量提供的数值；除渣系统设备出力按设计煤种排渣量的400%系数设计，进一步提高了系统的可靠性。

10）除灰系统设备出力按设计煤种排灰量的150%系数考虑，提高了系统的可靠性。

11）渣水处理系统为高效浓缩机方式。系统及运行简单，故障率低，提高了系统的可靠性。

2.汽机方面采取以下措施

1）设置2×100%的凝结水泵，1运1备。当1台泵故障时，备用泵可自动投入运行，提高了机组运行的可靠性。

2）5、6号低压加热器分别采用电动小旁路，7、8号低压加热器采用电动小旁路。当5、6、7、8号低加分别故障时，机组仍可

达到额定负荷运行。

3）采用2×50%的汽动给水泵及1台50%容量的电动给水泵，电动给水泵作为启动备用泵。当1台汽泵故障时，备用电泵可自动投入并带满负荷运行，大大提高了机组可靠性指标[7]。

3.电气方面采取以下措施

1）每台机组装设发电机出口断路器GCB，可避免或减少厂用电切换带来的风险，提高厂用电可靠性；简化继电保护接线，每年缩短故障恢复时间5~7天，提高机组可用率。

2）主变和厂变采用有载调压，避免电网电压波动对机组的影响，有利厂内6.6kV电动机启动。

3）将机组负荷与公用负荷分别接在两台不同的高压厂用变压器，公用系统故障不影响机组运行，提高了6.6kV高压厂用电可靠性。

4）每台机组汽机和锅炉系统负荷分别由两台低压干变供电，并设置3个MCC工作段，#3MCC采用双电源供电，成对辅机分别接在不同的#1和#2MCC段，单台辅机接在#3MCC段，提高了400V低压厂用电可靠性。

5）400V动力中心接线采用单母线分段，每段母线由一台低压变压器供电，两台低压变压器间互为备用，提高了低压供电的可靠性。

6）动力蓄电池在规范基础上增加1套，按2*100%设置，以提高动力直流系统可靠性。

（二）设备选型及监造阶段

1）全厂设备采用成熟、可靠的型号，选用业绩、资质较好的合格设备供应商的产品，确保设备的经济性、可靠性满足合同的要求。

2）设备的采购管理按主机及主要辅机供应商名录进行设备的招标、采购。对于未做要求的潜在供方，优先选择合格供方库中资质较优的供应商，对于新引进供应商将按照供方评审流程进行资质预审。

3）加强重要设备二次分包与外购件的控制管理，对全厂电机、轴承、润滑油、仪表、等统筹规划一致的供应商品牌[8]。

4）委托美国通用标准SGS公司作为设备监造单位，加强设备监造和出厂验收，对设备监造单位的支付须得到项目公司认可。

5）制定并严格执行设备监造范围及设备质量见证清单，深化影像见证点（V点）的应用。组织施工管理人员和生产人员参加设备主要工序和出厂检验，在出厂之前尽可能将设备缺陷消除。

6）压力容器和机组安全性能检验工作采取在制造厂检验和工地抽检相结合的办法，委托美国通用标准SGS公司开展压力容器出厂前监检，采取文件检查及抽查相结合的方式开展，尽量在设备生产过程中发现问题，将设备缺陷消灭在制造厂。

7）重点控制锅炉的管材及联箱采购、检验、加工和出厂前试验；严格控制汽轮机通流间隙的检测、高压缸和中压缸在制造厂的整体组装。

8）加大对机组性能影响较大的材料（如电缆、保温材料、管道等）的检验管理力度。加大电缆、保温材料和管道的现场检验的范围和力度。

（三）设备安装阶段

1）严格按照《电力建设施工技术规范》（DL5190系列）、《电力建设施工质量验收及评价规程》（DL/T5210系列）、及相关规程的要求，开展施工质量管控和验收工作[9]。

2）完善施工组织设计。加强安全交底、图纸会审、施工方案或作业指导书的审核、质量检验计划的审核、工器具的试验和校准、材料和设备的现场检验或试验、施工人员的培训和持证上岗、隐蔽工程验收等方面的管理。

3）在《创优工艺策划》的基础上，结合本项目实际情况，编制了《创精品工程工艺策划》，共48大项标准工艺要求和示范图片，涵盖锅炉、汽机、土建、电气、热控、焊接等专业，施工要求落实到责任单位及责任人，建立相关考核制度。

4）加强施工管理力量。聘请第三方监理单位，加强施工过程管控。聘请中国第三方检测机构，对全厂金属和焊接检测进行技术监督。上述承包商的招标结果需由项目公司认可，对检测和监理机构的支付需项目公司认可。

5）要求参建单位组织实施，通过学习、培训、评比、改进等手段确保精品工艺要求。

（四）调试运行阶段

1）注重调试大纲、调试方案和措施的审查工作。方案、措施要有针对性，要吸取、借鉴同类机组施工、调试的经验、教训，确保人身、设备安全[10]。调试工作要求不低于《火力发电建设工程机组调试质量验收及评价规程》DL/T 5295-2013）规定。

2）应用STOCC（System Turnover for commissioning certificate)管理办法，制定STOCC的系统划分、计划制定、签证等管理程序，合理安排各系统的安装施工和调试工作。

3）组织调试单位有计划地介入机组的安装工作和单机调试工作，为机组的调试工作做好充分的准备。

4）严格执行两票三制，精心操作调整，精心调控，保障设备稳定运行。

5）加强调试的监督管理，调试单位招标结果须取得项目公司认可，认可后由EPC承包商签订合同，对调试单位的支付须经项目公司认可。

6）实施深度调试。在《火电机组深度调试管理办法》的基础上，项目公司结合本项目实际情况，编制了《创精品工程调试规划》，规定了化学水清洗、锅炉点火吹管、整套启动试运、空负荷、带负荷、满负荷各阶段共146大项深度调试项目和要求。

7）强化各级人员安全思想意识，各级人员应深刻理解集团公司“任何事故都是可以避免的”的安全理念，对照二十五项反措，认真查找设备存在的隐患和缺陷，查找管理上存在的薄弱环节，认真开展好危险点及预控工作，切实做到“无违章、无意外、无差错、无伤害”，杜绝人身和设备事故的发生。

8）严格执行《生产值班管理制度》，节假日、夜间值班人员按规定到位，各专业技术人员保持24小时通讯畅通，及时提供技术支持并协调、督促消缺工作尽早完成。

四、结论

火力发电厂进行可靠性管理需要根据实际情况做好各个阶段的管控，提高可靠性工作应贯穿于设计、制造、安装、试运、运行维护和现场管理各过程，在工程基建期就要统筹考虑，发挥监造、安装、调试及监理作用，实行分级管理，要求施工和调试单位编制提高设备可靠性专题工作方案，进行以可靠性管理为中心的项目管理[11]。通过上述一系列措施，该项目#2机组于2018年11月27日商业运行以来，连续高负荷运行已经275天，创造了越南国内同类型机组连续运行新纪录。

参考文献

[1] 河南电力公司. 火电工程调试技术手册（锅炉卷）[M]. 中国电力出版社，2003.

[2] 胡建钢，巫世晶. 电力工程建设设备监理手册 [M]. 中国电力出版社，2003.

[3] 国家电力公司火电建设部. 600 MW 火电工程建设启示录 [M]. 中国电力出版社，1999.

[4] 600MW 火电机组工程施工作业指导书编写组. 600MW 火电机组工程施工作业指导书 [M]. 中国水利水电出版社，2006.

[5] 发电设备可靠性评价规程 DL/T 793-2012.国家能源局. 2012.

[6] 朱宝山. 锅炉安装手册 [M]. 中国电力出版社，2001.

[7] 朱全利. 国产600MW 超临界火力发电机组技术丛书（锅炉设备及系统）[M]. 中国电力出版社，2006.

[8] 吕春光. 火力发电厂做好设备运行可靠性管理的途径分析. [J] 现代制造技术与装备. 2018(03).189-190+192.

[9] 白翎；李石；陈杭君；赵振宁；孙志春. 火力发电厂重要辅机可靠性评价体系研究. [J] 电力设备管理. 2018(01).56-62.

[10] 王鹏宇. 发电厂可靠性管理现状及发电设备可靠性评估探讨. [J] 红水河. 2013(32)04.52-57.

[11] 任震，张静伟，黄雯莹. 电力系统可靠性指标的再分析 [C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业第20届学术年会论文集（上册）.河南：郑州大学，2004:11-14.

电力工程物资供应链优化与管理实践

马亮

国网吉林供电公司，吉林 吉林 132001

摘　　要： 电力行业的快速发展，使得电力工程建设规模不断扩大。对此本文深入探讨了电力工程物资供应链的优化与管理实践。首先分析了电力工程物资供应链的特点及重要性，接着再从需求预测、采购管理、库存控制、物流配送、信息化建设等方面详细阐述了优化策略。同时通过实际案例分析，展示了优化后的物资供应链在提高效率、降低成本、保障工程进度等方面的显著成效。最后文章对未来电力工程物资供应链的发展趋势进行了展望，并提出了相应的建议。

关 键 词： 电力工程；物资供应链；优化管理；实践案例

Power engineering materials supply chain optimization and management practice

Ma Liang

State Grid Jilin Power Supply Company, Jilin, Jilin 132001

Abstract: With the rapid development of the electric power industry, the scale of electric power project construction continues to expand. In this paper, the optimization and management practice of power engineering material supply chain are discussed. First, the paper analyzes the characteristics and importance of the supply chain of power engineering materials, and then elaborates the optimization strategy from the aspects of demand forecasting, procurement management, inventory control, logistics distribution, information construction and so on. At the same time, through the actual case analysis, it shows the remarkable effect of the optimized material supply chain in improving efficiency, reducing cost and guaranteeing project progress. Finally, the paper looks forward to the development trend of the supply chain of power engineering materials in the future, and puts forward corresponding suggestions.

Keywords: electric power engineering; material supply chain; optimize management; practical case

引言

物资供应作为电力工程建设的重要环节，其供应链的优化与管理对于确保工程质量、控制工程成本、保障工程进度具有至关重要的意义。而在当前市场竞争日益激烈的环境下，如何优化电力工程物资供应链，从而提高物资供应的效率和质量，成为电力企业面临的重要课题。

一、电力工程物资供应链的特点及重要性

（一）特点

1.复杂性：电力工程物资种类繁多，且物资的供应涉及多个环节，如需求预测、采购、运输、仓储、配送等。所以就需要协调众多的供应商、物流服务商和施工单位，因此其供应链管理难度较大[1]。

2.不确定性：电力工程建设受自然环境、政策法规、市场变化等多种因素的影响，所以物资需求具有较大的不确定性。例如恶劣的天气条件可能导致工程进度延迟，从而影响物资的需求时间和数量。又如政策法规的调整可能导致物资的技术标准发生变化，因此就需要重新采购符合要求的物资。

3.时效性强：电力工程建设通常具有严格的工期要求，所以物资供应必须及时、准确，才能确保工程进度不受影响。一旦物资供应出现延误，就可能会导致工程停工，进而造成巨大的经济损失。

4.质量要求高：电力工程涉及到国家能源安全和人民生命财产安全，因此其对物资的质量要求非常高。使用不合格的物资可能会导致工程质量问题，甚至是引发安全事故。

（二）重要性

1.保障工程进度：合理的物资供应链管理可以确保物资的及时供应，以此避免因物资短缺而导致工程停工，从而保障工程进度。

2.控制工程成本：相关人员通过优化物资采购、库存管理和物流配送等环节，即可降低物资采购成本、库存成本和运输成本，进而控制工程成本。

作者简介：马亮（1979.09-），女，汉族，吉林省吉林市，本科，工程师，电力工程物资管理。

3.提高工程质量：严格的物资质量控制能够确保工程使用的物资符合质量要求，以此提高项目工程质量。

4.提升企业竞争力：高效的物资供应链管理可以提高企业的物资供应效率和质量，如此即可降低工程成本，并提高工程质量，从而提升企业的竞争力[2]。

二、电力工程物资供应链优化策略

（一）需求预测

1.建立科学的需求预测模型

电力企业应结合历史数据、工程进度计划、市场变化等因素，建立起科学的需求预测模型。对此其可采用定量分析方法，如时间序列分析、回归分析等，来对物资需求进行预测，以此提高预测的准确性。

2.加强与工程部门的沟通协调：物资管理部门应与工程部门密切合作，确保自己能够及时地了解工程进度和物资需求变化情况。其在工作中可定期召开需求沟通会议，和工程部门共同制定物资需求计划，以确保需求预测的准确性和及时性。

3.引入大数据分析技术：利用大数据分析技术对海量的物资需求数据进行挖掘和分析，从中找出需求变化的规律和趋势。如此一来物资管理部门就可以更加准确地预测物资需求，进而为物资采购和库存管理提供决策依据。

（二）采购管理

1.优化采购流程：对传统的采购流程进行优化的目的在于减少审批环节，与提高采购效率。据此企业可建立电子采购平台，以实现采购信息的公开透明和在线交易，从而降低采购成本。

2.建立供应商管理体系：采购部门需对供应商进行分类管理，并建立供应商评价指标体系，定期地对供应商进行评价和考核。同时还需与优质供应商建立长期稳定的合作关系，以确保物资的质量和供应的及时性。

3.采用集中采购和战略采购策略：对于通用性强、采购量大的物资来说，相关人员可采用集中采购策略，发挥规模优势，以降低采购成本。而对于关键设备和重要材料，其可采用战略采购策略，即与供应商签订长期合同，进而确保物资的稳定供应。

4.引入采购风险管理机制：采购人员对采购过程中的风险进行识别、评估和控制，需建立采购风险管理机制。例如对于价格波动较大的物资，就可以采用套期保值等金融工具进行风险对冲。

（三）库存控制

1.建立合理的库存管理模型：管理人员根据物资的需求特点和供应情况，可建立一个合理的库存管理模型。一般情况下，其可采用经济订货批量（EOQ）模型、ABC 分类法等库存管理方法，来确定最佳的库存水平和订货策略。

2.加强库存监控和预警：建立库存监控系统有利于相关人员实时掌握库存动态。其中需要设置库存预警指标，当库存水平超出预警范围时该系统会及时发出预警信息，提醒物资管理部门采取相应的措施。

3.推行零库存管理理念：对于一些通用性强、供应稳定的物资，相关人员可以推行零库存管理理念。即通过与供应商建立紧密的合作关系，以实现物资的即时配送，从而降低库存成本。

4.开展库存物资的盘活利用：实践中相关人员需定期对库存物资进行清理和盘点，可以通过内部调剂、对外销售等方式对积压物资，开展盘活利用工作，进而减少库存积压，且提高物资的利用率。

（四）物流配送

1.优化物流配送网络：根据电力工程的分布情况和物资需求特点，来优化物流配送网络。该过程中相关人员需合理地规划配送路线和配送节点，才能够提高物流配送的效率和及时性[3]。

2.选择合适的物流服务商：相关人员需对物流服务商进行严格的筛选和评估，从中选择具有良好信誉和实力的物流服务商。并与物流服务商签订服务合同，在其中明确服务标准和违约责任，以此确保物流配送的质量和安全。

3.采用先进的物流技术：引入先进的物流技术，如物联网、GPS 定位、电子标签等，可实现物流配送的全程跟踪和可视化管理。如此一来就能提高物流配送的准确性和及时性，并降低物流成本。

4.加强物流配送的协调管理：物资管理部门应与物流服务商、施工单位等加强沟通协调，共同建立物流配送协调机制。借助此机制即可及时地解决物流配送过程中出现的问题，从而确保物资的顺利配送。

（五）信息化建设

1.建立物资管理信息系统：建立统一的物资管理信息系统，能够实现物资需求计划、采购管理、库存管理、物流配送等环节的信息化管理。

2.实现信息共享与协同：通过物资管理信息系统，电力企业可实现物资管理部门与工程部门、供应商、物流服务商等之间的信息共享与协同。

3.引入数据分析和决策支持功能：物资管理信息系统应具备数据分析和决策支持功能，其可对物资需求、采购、库存、物流等数据进行分析和挖掘，最终为物资管理决策提供科学依据。

三、电力工程物资供应链管理实践案例

（一）案例背景

某电力工程公司承担了一项大型电力工程项目的建设任务。该项目建设规模大、工期紧、物资需求种类繁多且数量巨大。而为了确保项目的顺利进行，公司决定对物资供应链进行优化管理。

（二）优化措施

1.需求预测方面

（1）建立了需求预测模型，以此结合历史数据、工程进度计划和市场变化等因素，对物资需求进行了准确预测。

（2）加强了与工程部门的沟通协调，在工作过程中定期召开需求沟通会议，多部门共同制定物资需求计划。

（3）引入了大数据分析技术，借助该技术对物资需求数据进行了挖掘和分析，从中找出了需求变化的规律和趋势。

2.采购管理方面

（1）优化了采购流程，从而减少了审批环节，并提高了采购效率。

（2）建立了供应商管理体系，此体系对供应商进行了分类管理和评价考核，因而电力企业与优质供应商建立了长期稳定的合作关系。

（3）采用了集中采购和战略采购策略，所以降低了采购成本。

（4）引入了采购风险管理机制，因此能够对采购过程中的风险进行识别、评估和控制。

3.库存控制方面

（1）建立了合理的库存管理模型，即采用了经济订货批量（EOQ）模型和 ABC 分类法，从而确定了最佳的库存水平和订货策略 [4]。

（2）加强了库存监控和预警，经过建立库存监控系统，与设置库存预警指标，保证能够及时地向相关人员发出预警信息。

（3）推行了零库存管理理念，且与供应商建立了紧密的合作关系，进而实现了物资的即时配送。

（4）开展了库存物资的盘活利用工作，即定期对库存物资进行清理和盘点，通过内部调剂、对外销售等方式减少了库存积压。

4.物流配送方面

（1）优化了物流配送网络，并根据项目分布情况和物资需求特点，合理地规划了配送路线和配送节点。

（2）对物流服务商进行了严格的筛选和评估，从中选择了合适的物流服务商，并与优质物流服务商签订了服务合同。

（3）采用了先进的物流技术，即引入了物联网、GPS 定位和电子标签等技术，从而实现了物流配送的全程跟踪和可视化管理。

（4）加强了物流配送的协调管理，借助物流配送协调机制，在实践中及时地解决了物流配送过程中出现的问题。

（三）成效分析

1.提高了物资供应的效率和及时性

该企业通过优化物资供应链管理，使得物资供应的效率和及时性得到了显著提高。其中物资需求计划的准确性提高了 30%，采购周期缩短了 20%，库存水平降低了 25%，物流配送时间缩短了 15%，并且确保了工程建设的顺利进行。

2.降低了工程成本

本企业经过优化采购管理、库存控制和物流配送等环节，促使工程成本得到了有效控制。展开来说，此过程中的采购成本降低了 15%，库存成本降低了 20%，运输成本降低了 10%，且为企业创造了良好的经济效益。

3.提高了工程质量

企业开展严格的物资质量控制和供应商管理，从而确保了工程使用的物资符合质量要求，并提高了工程质量。实践中的工程质量验收合格率达到了 100%，其得到了业主和监理单位的高度评价。

4.提升了企业竞争力

高效的物资供应链管理提高了企业的物资供应效率和质量，并且降低了工程成本，提高了工程质量与企业的竞争力。这也意味着企业在市场竞争中赢得了更多的项目机会，其实现了可持续发展。

四、未来电力工程物资供应链的发展趋势

（一）智能化

未来随着人工智能、物联网、大数据等技术的不断发展，电力工程物资供应链将向智能化方向发展。其可通过智能化技术的应用，来实现物资需求的自动预测、采购决策的智能优化、库存管理的自动控制、物流配送的智能调度等，进而提高物资供应链的效率和准确性。

（二）协同化

供应链协同将成为未来电力工程物资供应链的重要发展趋势。当企业建立供应链协同平台，即可实现物资管理部门、工程部门、供应商、物流服务商等各参与方之间的信息共享和协同作业，从而提高供应链的透明度和协同性，并降低供应链风险 [5]。

（三）绿色化

环保意识的不断提高表明了电力工程物资供应链将向绿色化方向发展。其在物资采购、运输、仓储等环节，将会更加注重环保和可持续发展。例如未来电力企业会更倾向于选择环保型物资供应商、采用绿色物流配送方式、推广可回收利用的包装材料等。

（四）全球化

目前电力工程建设已有国际化的发展趋势，代表着未来电力工程物资供应链将向全球化方向发展。企业将能够在全球范围内寻找优质的物资供应商和物流服务商，以此实现资源的优化配置。但同时，企业也将面临更加复杂的国际市场环境和贸易规则，因此其需要加强风险管理和合规经营。

五、结语

电力工程物资供应链的优化与管理是一项复杂而系统的工程。通过需求预测、采购管理、库存控制、物流配送、信息化建设等方面的优化策略，可以提高物资供应的效率和质量，降低工程成本，保障工程进度。在实践中，企业应结合自身实际情况，不断探索和创新物资供应链管理模式，提高管理水平。同时，企业还应积极应对市场变化和挑战，加强技术创新和人才培养，推动电力工程物资供应链向智能化、协同化、绿色化、全球化方向发展，为电力行业的可持续发展提供有力支持。

参考文献

[1]刘治. 工程物资供应链管理模式应用及优化策略［J］. 现代企业，2024,(03):59-61.

[2]王治利. 电力企业物资供应管理的问题与优化策略［J］. 中国管理信息化，2023,26(12):108-111.DOI:10.3969/j.issn.1673-0194.2023.12.035.

[3]陈吉磊. 物资供应链管理在电力物资供应中的应用与优化［C］. 第四届电力工程与技术学术交流会议论文集. 中国广东省广州市，2023:53-54.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.071997.

[4]梅宇，苏绍霞. 电力行业供应链管理与物资采购策略优化［J］. 今商圈，2023,(22):128-131.

[5]王玥，汤盼盼. 基于供应链模式的单位采购流程再造与管理实践［J］. 中国物流与采购，2023,(22):82-83.

国电投火电厂化学除盐设备运行效果分析

王依林，马军

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 毕节 551500

摘　　要： 本文旨在分析国电投火电厂中化学除盐设备的运行效果，重点探讨了传统离子交换技术和电除盐（EDI）技术的运行原理、优缺点及在火电厂的实际应用效果。通过对传统技术和现代技术的对比，提出了国电投火电厂中化学除盐设备运行优化措施，以期为提高水质处理效率和水质稳定性提供参考。

关 键 词： 国电投火电厂；化学除盐；离子交换技术

Analysis of operation effect of chemical desalination equipment in Guodian Power Investment Thermal power Plant

Wang Yilin , Ma Jun

Guizhou Qianxi Central Water Power Generation Co., LTD. Bijie, Guizhou 551500

Abstract: This paper aims to analyze the operation effect of the chemical desalination equipment in the thermal power plant of China Power Investment Corporation, and focuses on the operation principle, advantages and disadvantages of the traditional ion exchange technology and electric desalination (EDI) technology, and the practical application effect in the thermal power plant. Through the comparison of traditional technology and modern technology, the operation optimization measures of chemical desalination equipment in the thermal power plant are put forward to provide reference for the improvement of water quality treatment efficiency and water quality stability.

Keywords: SDIC thermal power plant; chemical desalination; ion exchange technology

水质的好坏直接影响火力发电厂的安全和高效运行。化学除盐技术是确保水质达标的关键环节。本文将分析传统离子交换技术和电除盐（EDI）技术在国电投火电厂中的应用效果，并提出优化措施，以期提高水质处理效率和水质稳定性。

一、传统离子交换技术分析

（一）工作原理

传统离子交换技术，作为一种经典且有效的水质净化手段，其核心在于利用离子交换树脂这一特殊介质。离子交换树脂是一种高分子化合物，其表面及内部遍布着大量的活性基团，这些活性基团对水中的阴阳离子具有高度的选择吸附能力。当含有各种离子的原水通过离子交换树脂层时，树脂上的活性基团会与水中的离子发生交换反应。具体来说，阳离子交换树脂上的活性氢离子（或钠离子等）会置换出水中的钙离子、镁离子等阳离子；而阴离子交换树脂上的活性氢氧根离子（或氯离子等）则会置换出水中的硫酸根离子、碳酸根离子等阴离子。这样，通过树脂的连续交换作用，水中的大部分离子被去除，从而达到净化水质的目的。值得一提的是，离子交换树脂的选择性吸附能力并非绝对，它受到树脂种类、离子性质、溶液 pH 值等多种因素的影响。因此，在实际应用中，需要根据原水的水质特点和处理要求，选择合适的离子交换树脂类型和运行参数，以确保离子交换技术的最佳效果[1]。

（二）优缺点

1.优点

传统离子交换技术以其操作简便、运行稳定的显著特点，在水处理领域占据了重要地位。该技术通过离子交换树脂的选择性吸附作用，能够高效地去除水中的钙、镁、铁、锰等多种离子杂质，显著提升水质，使之满足各种工业生产和日常生活的需求。此外，离子交换树脂的再生过程相对简单，通过酸碱溶液的处理即可恢复其交换能力，从而保证了技术的持续稳定运行。这些优点使得传统离子交换技术在各种水处理场景中得到了广泛应用。

2.缺点

传统离子交换技术在应用过程中也暴露出一些明显的缺点。一方面，离子交换设备通常体积庞大，占用空间大，这对于空间资源有限的水处理场所来说是一个不小的挑战。另一方面，离子交换技术的操作相对复杂，需要专业人员进行精细调控，以确保

作者简介：王依林（1994-），女，汉族，贵州省贵阳市人，学历大专，职称：助理工程师，研究方向：火电厂化学运行；

通讯作者简介：马军（1994-），男，汉族，贵州省遵义市人，学历大专，职称：助理工程师，研究方向：火电厂化学运行。

处理效果。此外，树脂的再生过程繁琐且频繁，不仅增加了运行成本，还产生了大量的酸碱废液，这些废液若处理不当，将严重污染环境，对生态系统和人类健康构成潜在威胁。

（三）应用效果

离子交换技术在火电厂化水系统中的应用历史悠久，尤其在处理水质稳定、有机物含量较低的场景中表现出色。该技术通过离子交换树脂的选择性吸附作用，能够高效地去除水中的钙、镁等硬度离子以及其它可能影响锅炉运行的杂质，从而确保锅炉用水的品质。在火电厂这一对水质要求极高的工业领域，离子交换技术无疑为水质净化提供了有力保障。然而，尽管离子交换技术在火电厂化水系统中应用广泛，但其也存在一些不容忽视的问题。其中，再生废液的处理便是一个重要挑战。树脂再生过程中产生的酸碱废液不仅量大，而且处理难度高，若处理不当，极易对环境造成污染[2]。此外，离子交换技术的运行成本也相对较高，包括树脂的更换、再生剂的消耗以及设备的维护等，都增加了企业的运营成本。因此，在应用离子交换技术时，火电厂需要综合考虑其优缺点，寻求最佳的应用方案。

二、电除盐（EDI）技术分析

（一）工作原理

电除盐（EDI）技术，作为一种先进的水处理技术，巧妙地将电渗析与离子交换技术融为一体，实现了连续除盐和深度除盐的双重功效。在EDI系统的核心部件——淡水室内，精心填装了高性能的离子交换树脂。这些树脂不仅具备传统离子交换树脂的选择性吸附能力，更在电场的作用下，加速了离子的迁移和交换过程。当原水通过淡水室时，在电场的作用下，水中的离子被强制向电极方向移动。在此过程中，离子交换树脂发挥了关键作用，它像一座“离子桥梁”，不断地吸附、释放离子，促进了水中离子的高效去除。同时，由于电场的持续作用，树脂的再生过程得以在原位进行，无需额外的酸碱再生剂，从而避免了传统离子交换技术中再生废液的产生[3]。这种独特的工作原理，使得EDI技术在保证高效除盐的同时，实现了环保、节能的显著优势。

（二）优缺点

1.优点

电除盐（EDI）技术以其独特的优势，在水处理领域大放异彩。该技术产水稳定，出水水质优异，能够适应各种复杂水质条件，确保处理效果的持续稳定。同时，EDI设备占地面积小，空间利用率高，这对于土地资源紧张的地区尤为重要。此外，相比传统水处理技术，EDI技术的能耗更低，运行费用也更为经济。最重要的是，EDI技术在运行过程中不产生酸碱废液，对环境影响极小，符合当前绿色、低碳的发展理念。

2.缺点

尽管电除盐（EDI）技术具有诸多优点，但其也存在一些不容忽视的缺点。首先，EDI设备的初期投资成本较高，这对于一些资金有限的企业或项目来说，可能构成一定的经济压力。其次，EDI技术对进水水质的要求较为严格，若原水中含有较多的悬浮物、有机物或胶体等杂质，会直接影响EDI设备的处理效果和运行稳定性。因此，在实际应用中，通常需要配备预处理系统，以去除这些杂质，确保进水水质满足EDI设备的要求。

（三）应用效果

在国电投火电厂这一对水质要求极高的工业领域，EDI技术展现出了卓越的应用效果。通过连续除盐和深度除盐，EDI技术能够确保为锅炉提供高品质、低杂质的用水，有效满足了锅炉的运行需求。与传统水处理技术相比，EDI技术在提高水质稳定性方面表现更为出色，它不仅能够去除水中的硬度离子、有机物等杂质，还能够有效抑制细菌、藻类的生长，从而确保了锅炉用水的长期洁净和稳定。此外，EDI技术的应用还显著降低了火电厂的运行成本。一方面，由于EDI设备占地面积小，能够节省大量的基建投资[4]；另一方面，EDI技术在运行过程中无需酸碱再生剂，减少了化学药品的消耗和废液的处理费用。同时，EDI技术的自动化程度高，运行维护简便，进一步降低了火电厂的人力成本。因此，可以说EDI技术在国电投火电厂中的应用，不仅提高了水质，更实现了经济效益和环保效益的双赢。

三、国电投火电厂EDI设备运行实施

（一）系统设计与运行

国电投火电厂的EDI（电除盐）系统，作为先进的水处理技术代表，其系统设计与运行策略直接关系到电厂的水质安全和运行效率。EDI系统主要由直流电源、电极盖、控制箱等关键附属设备构成，这些设备共同协作，实现了高效、连续的除盐过程。在系统设计与实施过程中，首要任务是确保RO（反渗透）系统的正常操作。RO系统作为EDI的前处理环节，其出水水质直接影响到EDI的处理效果和稳定性。因此，需定期对RO系统进行维护和清洗，确保其始终处于最佳工作状态。同时，对进流水质进行严格监控，确保水质指标如悬浮物、有机物含量、pH值等均在EDI系统的处理范围内，以避免对EDI树脂造成污染或损害[5]。此外，EDI系统的控制箱集成了先进的自动化控制系统，能够实时监测设备的运行状态和水质参数，并根据预设条件自动调节运行参数，确保系统始终处于高效、稳定的工作状态。这一设计不仅提高了系统的运行效率，还大大降低了人工干预的频率和难度。

（二）运行维护

在国电投火电厂EDI设备的运行维护过程中，确保阳树脂的质量和性能是至关重要的环节。阳树脂作为EDI系统的核心部件，其吸附和交换离子的能力直接关系到系统的除盐效果和出水水质。因此，运行维护人员需要定期对阳树脂的质量进行检查，通过专业的检测手段评估其吸附能力和使用寿命。一旦发现树脂出现老化、破损或吸附能力下降等情况，应立即进行更换，以确保系统的除盐效果不受影响。除了树脂的检查和更换，对EDI系统进行化学清洗也是维护过程中的重要一环。随着运行时间的增长，系统中可能会积累一些难以通过常规手段去除的污染物，如有机物、胶体、微生物等[6]。这些污染物会附着在树脂表面和膜元件上，影响系统的运行效率和出水水质。因此，需要定期对系

统进行化学清洗，利用特定的清洗剂去除这些污染物，恢复系统的正常运行状态。

（三）优化措施

在国电投火电厂EDI系统的运行实施过程中，为了提高系统的运行效率和稳定性，采取了一系列优化措施。在系统设计方面，对EDI系统的整体布局进行了优化，确保水流顺畅，减少了不必要的能量损失。同时，还对EDI系统的管道走向和设备选型进行了细致的规划，使其更加符合电厂的实际需求和水质特点。在参数控制方面，合理控制了产水流量、进水温度和进水压力等关键参数。通过精确调节产水流量，确保了EDI系统在高效率下运行，同时避免了因流量过大而导致的能耗增加和树脂磨损。在进水温度方面，将其控制在适宜的范围内，以提高树脂的吸附效率和膜的通透性[7]。此外，还通过调节进水压力，确保了EDI系统在最佳工作状态下运行，从而提高了系统的除盐效果和出水水质。

四、国电投火电厂中化学除盐设备运行优化措施

（一）加强预处理

在国电投火电厂的化学除盐设备运行优化中，加强预处理环节是提升整体系统效能的关键一步。为了进一步提高进入EDI系统的水质，在其前端增设了预处理系统，这一举措旨在从源头上把控水质，为后续的高效除盐打下坚实基础。预处理系统主要由活性炭过滤器与超滤装置构成。活性炭过滤器凭借其强大的吸附能力，能有效去除水中的有机物、余氯等杂质，这些物质若直接进入EDI系统，不仅会影响除盐效果，还可能对树脂造成损害[8]。而超滤装置则通过其精密的过滤膜，将水中的悬浮物、胶体、细菌等微小颗粒拦截在外，确保进入EDI系统的水质清澈透明，减少了膜污染的风险。通过加强预处理，成功提升了进水水质，这不仅延长了EDI系统的使用寿命，还提高了系统的除盐效率和出水水质。

（二）优化运行参数

在国电投火电厂的化学除盐设备运行优化过程中，对EDI系统的运行参数进行合理调整，是提高除盐效率的重要手段。由于水质情况会随时间和环境因素发生变化，因此，需要根据实时的水质监测数据，灵活调整EDI系统的运行参数。电流和电压是影响EDI系统除盐效率的关键因素。通过精确控制电流和电压的大小，可以调节离子在电场中的迁移速度和树脂的再生速率，从而优化除盐过程。同时，产水流量的调整也至关重要[9]。在保证系统稳定运行的前提下，适当提高产水流量可以加速离子的排出，提高除盐效率。但过高的流量也可能导致水质下降和能耗增加，因此需要在实践中不断摸索和平衡。通过不断优化运行参数，成功提升了EDI系统的除盐效率，确保了出水水质的稳定达标。

（三）定期监测与维护

除此之外，定期监测与维护EDI（电去离子）系统也显得尤为重要。EDI系统作为化学除盐的核心部分，其性能直接影响到整个除盐过程的效率与效果。为了确保EDI系统的稳定运行，需要实施一套周密的监测计划。这包括对树脂质量的定期检查，树脂是EDI系统中的关键耗材，其吸附能力和使用寿命直接关系到除盐效果。通过监测树脂的颜色、形态以及处理水质的变化，可以及时发现树脂的老化或污染情况，从而采取相应措施进行再生或更换[10]。同时，清洗系统也是维护EDI系统不可或缺的一环。在运行过程中，EDI系统可能会受到水中杂质、微生物等因素的影响，导致膜组件堵塞或性能下降。因此，需要定期对系统进行清洗，去除积累的污垢和杂质，恢复膜组件的通透性，确保系统的高效运行。

五、结论

国电投火电厂中化学除盐设备的运行效果分析表明，传统离子交换技术和电除盐（EDI）技术各有优缺点。通过对比和分析，EDI技术在提高水质稳定性、降低运行成本方面表现出显著优势。因此，在国电投火电厂中，应优先考虑采用EDI技术，并结合实际情况采取优化措施，以提高化学除盐设备的运行效率和稳定性。

参考文献

[1]毛学华. 火电厂废水综合治理梯度回用经验介绍［J］. 福建建材，2018,(03):95-97.

[2]李伟. 基于PLC控制的火电厂化学水处理系统除盐水泵变频自动控制的实现［J］. 自动化与仪器仪表，2013,(05):147-149.

[3]贾漫，王杰. 一种高效的除盐装置在火电厂化学水处理系统中的应用［J］. 内蒙古科技与经济，2012,(21):113-114.

[4]仝格源. 浅述火电厂化学水处理计算机监控系统［J］. 科技创新导报，2012,(29):53.DOI:10.16660/j.cnki.1674-098x.2012.29.095.

[5]高越，梁伟平，赵睿. 火电厂再生水系统的优化控制［J］. 电力科学与工程，2012,28(05):28-32+65.

[6]张春生. DCS控制系统在电厂化学水处理过程中的应用和研究［D］. 华北电力大学，2011.

[7]吴连峰. 某燃机电厂反渗透除盐系统改造研究［D］. 吉林大学，2011.

[8]郭可勇. 总有机碳(TOC)分析仪在电厂化学中的应用［J］. 浙江电力，2009,28(04):67-69.DOI:10.19585/j.zjdl.2009.04.020.

[9]叶华，蔡冠萍. 反渗透后续化学除盐系统方案探讨［J］. 净水技术，2006,(02):70-73.DOI:10.15890/j.cnki.jsjs.2006.02.020.

[10]李沛文. 火电厂预防咸潮保障化学除盐设备安全运行的探讨［J］. 电力建设，2000,(11):43-44+47.

汽车运煤煤质管理技术研究与应用

牛国栋

华能铜川照金煤电有限公司，陕西 铜川 717200

摘　　要： 煤碳是火力发电厂主要的燃料，火力发电厂锅炉用煤按发热量、硫分计价，近年来，随着国家对安全生产、环保等方面要求的提升，以及煤矿资源的整合，原煤价格一直居高不下，燃料成本占火力发电厂成本的70%以上。煤质特性对火力发电厂锅炉燃烧安全和经济运行有非常大的影响。做好燃煤检质工作，一方面对电厂经营效益、锅炉安全有非常重要的意义。同时做到公平、公正的检质，是避免供应商与电厂矛盾的重要途径。而煤炭的汽车运输对燃煤管理又带来各种复杂影响。本文就汽车运煤检质过程进行探讨论述。

关 键 词： 汽车运煤；检质

Research and application of coal quality management technology for automobile coal transportation

Niu Guodong

Huaneng Tongchuan Zhaojin Coal and Electricity Co., Ltd. Tongchuan , Shaanxi 717200

Abstract: Coal is the main fuel for thermal power plants, and the coal used for boilers in thermal power plants is priced based on calorific value and sulfur content. In recent years, with the increasing requirements of the country for safety production, environmental protection, and the integration of coal resources, the price of raw coal has remained high, and fuel costs account for more than 70% of the cost of thermal power plants. The coal quality characteristics have a significant impact on the combustion safety and economic operation of boilers in thermal power plants. Doing a good job in coal quality inspection is of great significance for the operational efficiency of power plants and the safety of boilers. Simultaneously achieving fair and impartial quality inspection is an important way to avoid conflicts between suppliers and power plants. The transportation of coal by vehicles brings various complex impacts on coal management. This article explores and discusses the quality inspection process of coal transportation by automobiles.

Keywords: coal transportation by car; quality inspection

前言

自从1875年法国巴黎北火车站火力发电厂的投产，随着发电锅炉容量的增大，锅炉燃料运输显得日益重要。到了近代大型火力发电厂的燃煤运输主要以铁路或水路运输为主，公路运输辅助。通过燃料多途径运输，增加燃料供应商的竞争，合理控制煤炭结构和价格。然而伴随着火力发电技术的发展，发电厂燃料管理工作一直是一个老大难得问题，电厂与供应商、运输单位之间，斗智斗勇。由于煤炭管理工作中一系列的漏洞，在经济利益的驱使下，各种非法手段给电厂造成了不必要的经济损失。许多燃料管理人员面对金钱诱惑或各种内、外部压力，在燃料检斤检质过程中徇私舞弊，导致电厂亏吨、亏卡的问题层出不穷。如：某电厂燃料接卸人员循环过磅，致使煤场账面库存近10万吨，而煤场实际存煤不足1万吨，多人被绳之以法。某电厂采样人员不规范采样，供应商在车厢底部铺矸石，电厂蒙受巨额经济损失。按国内主力发电厂一年消耗燃煤300万吨，1kcal/kg热值约0.1元计算，全年燃料检质误差约60万 /kcal。而作为固体物质的煤炭不均匀性也是一固有特征，按现有煤炭验收规范，控制误差一般在100kcal/kg，最大情况下，将是6000万元的费用。

华能铜川照金煤电有限公司燃煤全部采用汽车运输，燃料验收环节的重要性不言而语。多年来，电厂燃料管理人员不断提升检斤检质设备可靠性，通过设备技术改造、管理制度细化，设备可靠性不断提升，人员作业持续规范，较好的堵塞了设备和管理漏洞，为电厂较少不必要的经济损失。

一、汽车运煤的管理难点探究

汽车运煤涉及到原煤装车过程的管理、运输途中管理和到厂验收管理等环节。车辆在煤矿或煤场装煤时，如管理不到位，容易出现劣质煤包芯、铺底，箱边、贴拉筋部位装劣质煤，自动采样机采样盲区无法全覆盖都是煤质监督的漏洞。从业人员的廉洁

个人简介：牛国栋（1976.9-），男，汉族，本科学历，甘肃甘谷人，从事研究火力发电厂燃料管理相关专业领域。

自律问题在采样、接卸过程监督中叶会导致化验热值虚高，影响采样代表性[1]。构建全覆盖的燃料管控监督机制，把煤质监督工作贯穿于发煤管控、设备治理、采样监督、制样化验综合治理，坚决杜绝装煤不均，设备治理上不细致、有盲区和漏洞，制度执行中搞变通、打折扣，保障燃料运输、检斤检质过程令行禁止，是做好燃料管理的基本要求。

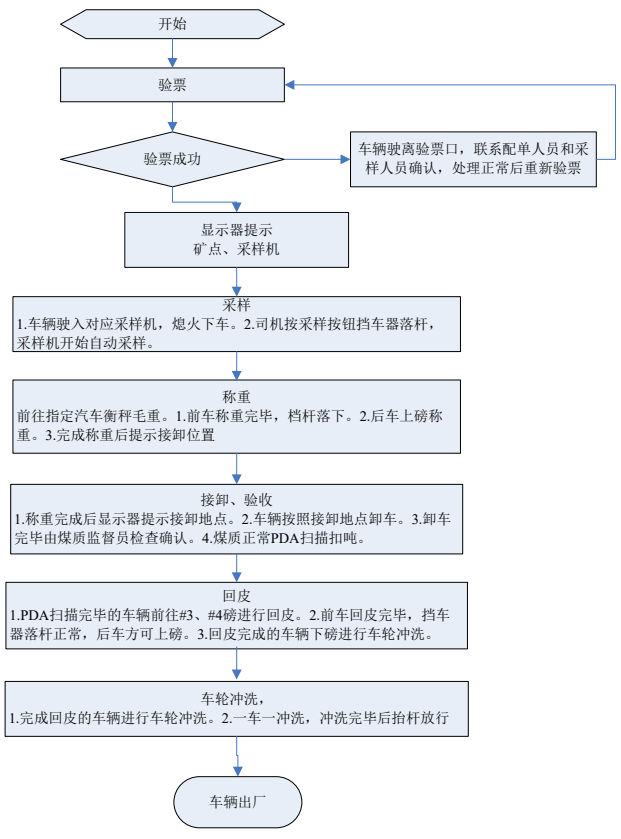
二、汽车运煤技防管理

自有电厂烧煤开始，汽车运煤出现检斤检质问题的根源在于人的参与，装煤过程中恶意掺假，运输途中倒煤换煤、加水，接卸过程中的隐形腐败，都是需要加强监督管理来杜绝，同时彻底杜绝又很难做到。

华能铜川照金煤电公司在运煤车辆管理上加强技防管理，通过技术提升，解决上述问题。

在燃料采购环节，大量采购煤矿直发煤，合同中以到厂热值为结算依据[2]。运煤车辆装设GPS装置（半挂车车厢、车头均装设识别卡），车辆运输通过GPS管控运输路线，延运输路线设置电子围栏，敏感地点（如煤场）等重点关注，运输异常车辆，监控通报厂内接卸人员强化接卸监督，车辆到厂后逐车开展查验作业。车辆到入厂前，通过车牌识别和车厢、车头GPS三数据、调运数据比对后，车辆信息写入厂内管理系统。

运煤车辆入厂接卸流程图



> 附图一

运煤车辆通道采用单通道入厂，避免煤车重复记录和重复称重舞弊行为。车辆信息写入厂内管理系统后，系统自动分配采样机、汽车衡等检质检斤设备，避免接卸人员舞弊。采样、计量为单流程，本环节执行完成后，方可进入下一环节，各环节车辆识别和信息登录均由系统读取车辆射频卡信息后方可启动相应作业子流程。重车称重完成，系统自动提示卸车点。完成卸车后，空车计重出厂，所有信息在厂内管理系统中自动实现，全过程实现自动化，杜绝人员舞弊。车辆入厂、接卸流程见附图一。

三、汽车运煤机防管理

火电厂耗煤量大，需要从成千上万吨的煤炭中制取少量的可以代表这一批次煤炭质量和性能的样品来进行评估，而煤炭的化学组分都是一些不均匀的固体混合物，需要用概率论和统计学等方法来制取具有相对代表性的煤炭样品。汽车运煤检斤检质过程[3]，为分车采样、分车计量，采样过程容易出现，采样代表性差、样品丢失或样品混合的问题，严重时人为舞弊，引起到货原煤实际热值与化验值的偏差。车辆在计重环节导致电厂经济损失。

现阶段，尽管火电厂引入了种类繁多的机械采制样装置，但是这些机械装置的核心结构还是大致一样的。装置主要由采样头、给煤机、破碎机、缩分器、样品收集器和余煤处理装置等构成。为了防范以上风险，电厂在采样机治理上做足工作。

首先要解决的就是采样点的管理问题。根据日发运煤量的多少按概率和统计学原理合理设置采样点数，保证该批次煤车车采样，而且样品有足够的代表性。同时采用全自动采样方式，随机选择确定采样点，杜绝人员干涉采样过程。机械采样机设置自动称重、异常报警、历史追溯功能，能实时监视集样桶煤样重量变化，确保煤样的代表性和安全性，所有采样过程数据均进入数据库保存。系统配置高清固定摄像头监控设施，监控全覆盖汽车采样机和车厢、各检查口、落煤口、破碎缩分器、样品收集器、封装设施、皮带采样机采样头及下料管口、检查口、样品收集器、封装设施等重要部位，防止人员舞弊行为发生[3]。

日常工作中加强对采样机采样钻桶的管理，对采样机钻杆加强检修维护，当发现钻杆与外桶间间隙超过2mm时，及时对钻杆进行更换，当采样钻外桶磨损严重，内径超过设计值5%时，采用整体更换方式，保证被采煤样能够提升到样品收集箱中；同时日常维护中定期检查样品收集缩分胶皮完好，缩分口尺寸合适，无明显磨损，保证被采煤样合理缩分进入集样箱。要加强采样机各部定期清理检查（一般是每班检查一次，每天彻底清理一次），来煤煤质湿粘时加强检查频次，防止样品粘在采样机各部位导致混样。对破碎机、筛板等部位更是要加强清理，此部位是粘煤混样的多发点[4]。

要加强采样过程参数分析和监视，保证每次采样的有效性。一般每采一个点，缩分留样为0.5kg，当发现样品重量与采样点数不对应时，及时检查消除问题，避免混样或样量少。

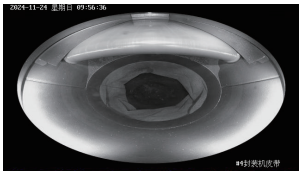
对采样机运行值班员、维护人员权限分级，互相监督，防止人员舞弊。敏感信息进行屏蔽，防止人为混样或换样。关键隐蔽

部位加装视频监视，监视系统满足在线监视和回放监督功能，保障采样样品有效性和代表性。监控设备布置见图二。

采样机全景

样品打包机

样桶分配器



缩分存样皮带

> 附图二：汽车采样机视频监控图

采用车辆精准识别、采样车精准定位，钻头触底反弹等技术消除采样盲区（一般可控制在车厢壁、拉紧部位3cm），防范车厢铺底、车厢周边、拉紧部位掺假问题。

上述措施是保证采样机正常运行的基本要求，为保证样品代表性，还需要在定期试验上下功夫。一是要定期开展采样机性能试验。由专业单位人员，选择不同批次煤车，依次在煤车同部位人工采样和采样机机械采样取样制样化验对比（双倍子样数，双份化验法）。采子样数不低于60个[5]。将人工、机械采样两组作为一对双份式子样。选取十对双份式子样按煤样制备方法做成分析样，检测化验并对比结果。根据化验结果计算双份式样的标准差，评估采样机代表性。如结果满足国标规范，则正常使用，如超出国标要求，则需要对采样机各部进行检查检修，重复试验，直到对比试验合格。

日常工作中，煤场质检人员要定期开展比对试验，如破碎机筛份实验、分析样、备查样比对试验等，防止采样、制样设备磨损导致样品粒度、均匀度超标引起化验误差。

诚然，上述机防措施，在一定层面上依然不能保证100%，这就要在运输车辆管理上下功夫。电厂采取的措施是，严格控制运煤车型，同一批次煤必须要求同车型运输。严禁大小车、煤层薄厚不均等情况出现。

四、接卸过程中的煤质监督

通过技防和机防，可以避免大多数问题，但铺底、夹心问题依然是不能彻底杜绝的。电厂在燃煤接卸过程中，采用车车监督，随机抽查采特样的方式进行管控，当目视有异常时，及时采特样进行比对化验，热值超出合同规定的严肃扣罚。同时定期利用入炉煤皮带采样机的优点开展同批次原煤不同采样方式比对，即：将同批次煤通过厂煤采样机后，全部集中入炉，用入炉煤采样机煤样数据和入厂煤样数据比对[6]，一方面检查采样机代表性，另一方面开展来煤均匀性比对，对煤质掺混不均的来煤进行通报，加强人工抽查和监督，堵塞掺假漏洞。

人工采样的过程中，容易因采样方式、采样点数以及采样过程供方、收方意见不一致而出现矛盾。国标GB475商品煤样人工采取方法主要规定了人工采样应达到的采样精密度、采样方案的建立法、应采用的采样方法以及人工采样工具的技术要求。但对于人为掺假煤炭，因其变异特性无从考证，如何采样具有代表性已经超出了技术规范范畴，故现实工作实践中较难形成明确的规范[7]。

为了及时发现中间商供应煤炭的掺假问题，同时做到公平公正的验收，我们采用以下方案进行查验处置。一是定期对运煤车辆随机抽检，运煤车辆到厂后，随机抽取一定数量的煤场，将运输原煤集中接卸到指定水泥地，用装载机搅拌均匀后，摊开为30cm—50cm厚煤层，按九宫格方式等距离划分区域，在每小格中人工采样。采样时，先掀去煤层上表皮10cm，采煤层中间煤样，这样采样员、供煤方、收煤方均无法直接观察到被采煤样，在一定程度上起到公平。用执法记录仪做好全过程视频监控备查，避免结算过程矛盾，记录好被采样车辆、司机，供需双方签字后，煤样密封，电脑编码制样双样，一份由供应商留存，一份送化验室化验。抽查特样化验值与同批次机械采样比对，核对供煤均匀性[8]。对于煤质明显不均的来煤，采用卸车过程采样方式，卸车前，在车厢前、中、后不同部位按九宫格方式采一特样，卸煤到中部煤位时再按九宫格方式采一特样，最后采车底样。通过三桶样化验热值检查煤车运煤情况。当然人工采样无法做到车车严格查验和采样检查，故当人工样热值与机械采样热值偏差较大时，将形成抽查报告，并在煤款结算时，按合同条款进行考核，起到惩罚和警示督促作用，保障供应商供煤的均匀性和机械采样的代表性。

人工采样要注意：采样工具，如：采样斗（桶）、采样铲、探管、手工螺旋钻等要符合规范，采样过程中采样铲、探管、螺旋钻等要从采样面垂直或成一定斜角插入，不应有意将大块煤、矸石推到一旁，也不应直接采矸石或煤块。对于粒度大于150mm的煤炭，采样前应抽样全部破碎，再采样化验。或将大块物料和其它物料分别进行采样和称重、制样化验，将结果加权平均后得到最终化验结果。

五、入炉/入厂采样机比对试验

由于煤为固体混合物，煤矿开采、分选后运输到电厂的煤炭固有的不均匀性，导致检质过程出现不可避免的偏差。而火电厂燃煤量大，工业化生产的局限性影响检质过程的精细化。为此，利用入厂、入炉煤采样机工作原理的不同，经常采用同批次煤不同采样机采样进行比对，进而提高发现问题和解决问题的途径[9]。一般操作过程是，在开展电厂汽车衡、皮带秤计重实煤比对试验时，同步开展采样机性能比对。取一定数量的同批次运煤车辆，机械采样计重后，统一接卸到实煤校验仓中，燃煤通过输煤皮带入原煤仓过程中，开展皮带秤集中和皮带采样机采样。将汽车采样机煤样、皮带采样机煤样进行化验比对，同时原煤入仓掺烧时，用反平衡法计算入炉煤热值[10]。上述三个热值进行比对分析，数据一致则通过比对，数据出现偏差，就要分析查找问题原因并设法解决。

六、总结

火力发电厂燃料管理的难点在与检质管理工作中，对于整体较均匀煤炭，采样机械采样或当前先进的人工智能采制化等方式开展煤质监督是没问题的，通过技术手段，避免人员干预，做到公开、公平、公正、透明的验收煤炭。大型火力发电厂耗煤量大，占生产成本高，同时供煤单位在利益的驱使下，以次充好的动力必然存在的。对中间商掺假问题，及时发现问题并采取有力的处罚措施，才能堵塞漏洞，从措施上消除供煤商的侥幸心理，减少矛盾的同时保护电厂利益不受损失。

参考文献

[1]张彬. 入厂煤样智能化管理设备在火力发电厂的运用研究［J］. 中国设备工程，2023,(22):26-28.

[2]龙卫. 入厂煤样智能化管理设备在火力发电厂的应用［J］. 电力勘测设计，2018,(S1):169-173.

[3]张广宏，王钢. 火力发电厂入炉煤与入厂煤热值差原因分析与对策［J］. 江西电力，2015,39(03):84-87.

[4]王芦萍. 浅析电厂入厂煤的全水分测定［J］. 中国新技术新产品，2014,(18):80.

[5]郭绍光.《火力发电厂入厂煤检测试验室技术导则》制定说明［J］. 电力标准化与计量，1995,(01):42-43.

[6]王建阁. 邢台矿煤质管理技术分析［J］. 煤炭与化工，2018,41(03):118-120.

[7]孙正文. 煤炭质量管理工作探讨［J］. 陕西煤炭，2008,(06):107-108.

[8]刘兴海，余博，周党文. 神东公司煤质技术管理体系的实施［J］. 煤炭科学技术，2002,(S1):24-26.

[9]刘琛，李光韬. 有关河北地区某电厂运煤系统设计总结［J］. 能源研究与管理，2018,(04):85-88.

[10]赵小江. 运煤系统带式输送机运输方案比选［J］. 起重运输机械，2020,(17):65-68.

分布式能源与微电网发展对电网建设方向的影响分析

朱鹏英，段冲

国网江西省南昌市新建区供电分公司，江西 南昌 330100

摘　　要： 随着能源结构转型和可持续发展需求的加剧，分布式能源与微电网的快速发展逐渐改变了传统电网的规划与建设方向。本文从分布式能源与微电网的基本概念入手，分析了其发展的驱动因素，包括政策支持、技术进步及能源需求变化等。随后，探讨了分布式能源和微电网对传统电网建设的全面影响，如改进能源利用效率、提高电网灵活性及推动新型能源基础设施的发展。同时，针对这一过程中的技术挑战、经济成本及制度障碍，提出了相应的对策。研究表明，分布式能源与微电网的普及对传统电网的建设和运营模式形成了深远的影响，未来需借助政策、科技和市场协调发展，以实现能源系统的高效与低碳目标。[1]

关 键 词： 分布式能源；微电网；电网建设；能源转型；技术挑战；对策

Analysis on the influence of distributed energy and microgrid development on power grid construction direction

Zhu Pengying, Duan Chong

State Grid, Nanchang City, Jiangxi Province, Xinjian District Power Supply Branch, Nanchang , Jiangxi 330100

Abstract: With the intensifying demand for energy transition and sustainable development, the rapid growth of distributed energy and microgrids is gradually transforming the planning and construction direction of traditional power grids. This paper begins by introducing the fundamental concepts of distributed energy and microgrids, analyzing their development drivers such as policy support, technological advancements, and evolving energy demands. It then examines the comprehensive impacts of distributed energy and microgrids on traditional power grid construction, including enhancing energy utilization efficiency, improving grid flexibility, and promoting the development of new energy infrastructure. Furthermore, the paper addresses key technical challenges, economic costs, and systemic barriers, proposing corresponding countermeasures. The study reveals that the widespread adoption of distributed energy and microgrids exerts a profound influence on the construction and operation models of traditional grids. Future development calls for coordinated efforts in policy, technology, and markets to achieve high-efficiency and low-carbon energy systems.[1]

Keywords: distributed energy; microgrid; power grid construction; energy transition; technical challenges; countermeasures

引言

随着全球资源的日益短缺和环境问题的不断加剧，能源领域正在经历深刻的变革。传统电力系统以集中式发电和分布输电为核心，虽然在资源利用、规模效益等方面具有一定优势，但也暴露出诸多局限性。例如，在大范围电力输送过程中，输配电损耗较高，且供需矛盾在用电高峰时段尤为突出。特别是随着工业化和城市化的快速发展，集中式电网难以应对日益增长的个性化能源需求。因此，寻求更加灵活、高效和可靠的能源系统运行方式成为亟待解决的问题。[2]

一、分布式能源与微电网的关系

分布式能源和微电网具有天然的密切联系。微电网作为分布式能源的承载与调控系统，能够将多个分散式能源设备整合为一个有机整体，实现能源生产、储存和消费的协调优化。例如，通过先进的信息技术和能量管理系统，微电网可将光伏、储能和风能进行协同优化配置，以提升能源利用率并确保系统的稳定性。

此外，分布式能源与微电网的协作模式正在逐步推动传统电力系统向灵活、智能的方向转型。微电网通过分布式能源的深度整合，可在负荷需求高峰、自然灾害等情况下提供持续稳定的能源供应，成为传统电网的重要补充乃至替代方案。这种综合的技术创新模式在未来能源体系中将起到至关重要的作用。[3]

作者简介：朱鹏英（1995.06-），男，汉族，甘肃省庆阳市人，本科，助理工程师。

二、分布式能源与微电网发展的驱动因素

分布式能源与微电网的快速发展并非偶然，其背后有着多方面的驱动因素，包括政策与法规支持、技术进步以及市场需求的推动。这些因素共同促进了分布式能源与微电网在全球范围内的广泛应用与持续优化。

（一）政策与法规支持

政策与法规的制定和实施是推动分布式能源与微电网发展的重要力量。许多国家通过出台支持再生能源发展的法律、补贴政策和税收优惠，鼓励分布式能源技术的应用。例如，许多发达国家制定了绿色能源激励政策，支持太阳能、电池储能和小型风力发电技术的部署。与此同时，能源监管部门通过简化微电网建设审批流程、降低并网技术壁垒以及实行差异化的电费结算政策，为分布式能源与微电网的发展提供了便利。此外，碳中和和能源转型目标的设定进一步提升了分布式能源和微电网的战略地位，加强了其在未来电力系统中的作用。例如，中国在双碳目标的指引下，加速推进能源体系向低碳化、分布化方向发展，为分布式能源和微电网创造了良好的政策环境。[4]

（二）技术进步

技术的不断突破为分布式能源与微电网提供了强有力的支持。首先，在可再生能源发电方面，光伏和风能技术的效率不断提高，同时发电成本显著下降，为分布式能源的市场化推广奠定基础。其次，储能技术的创新大大提升了分布式能源的稳定性和灵活性，高性能锂电池、液流电池等储能技术的发展使得能源的就地存储和调配更加高效。此外，数字化和智能化技术的进步也为微电网的运营和管理提供了更多可能性。例如，基于物联网和人工智能的能源管理系统可以实现分布式能源之间的动态协同，优化能源利用效率。同时，区块链技术的应用正在探索通过可信的去中心化交易平台实现微电网内外的电力交易。这些技术的成熟，不仅降低了分布式能源和微电网的运行成本，还提高了系统的安全性、可靠性和灵活性。

（三）市场需求

市场需求的变化也是分布式能源与微电网兴起的重要原因之一。随着用户对可再生能源的认可度和接受度不断提高，越来越多的企业和家庭开始主动寻求更清洁、更高效的能源解决方案。同时，能源需求增长与传统电网容量不足之间的矛盾日益突出，分布式能源及微电网作为一种灵活、高效的方案日渐受到青睐。对于偏远地区和电力供应薄弱区域，分布式微电网能够有效解决当地能源匮乏的问题，保障用电的连续性和稳定性。此外，越来越多的工商业用户因成本因素开始采用分布式能源，其独立性和灵活性能够帮助用户降低用电费用，并提升能源系统的自给能力。与此同时，在能源市场化改革的背景下，分布式能源和微电网凭借其满足多样化需求的优势，吸引了更多的投资者和服务商参与布局。[5]

综上所述，政策与法规、技术进步和市场需求共同推动了分布式能源与微电网的发展，使其成为全球能源结构转型的重要支柱。

三、分布式能源与微电网对传统电网建设方向的影响

（一）电网规划的去中心化

随着分布式能源和微电网的快速发展，传统电网自上而下的集中式规划模式正在受到冲击。传统电网建设通常以大规模集中式电源为核心，通过主干电网将电力输送至各个负荷中心。然而，分布式能源的引入推动了能源生产逐渐向用能侧靠近，这使得电网规划不可避免地向去中心化发展。去中心化的电网规划更加注重局部区域电力供需的平衡，这不仅降低了长距离输电造成的损耗，还提高了电力系统的灵活性和可靠性。此外，微电网作为分布式能源的集成载体，能够实现特定区域电力生产、存储和消费的自洽运行，推动了从单一的大电网集中式布局向多中心、分布式网络模式的转变。这一规划变革要求电网设计考虑更多的边界接口、多层级调控和分区优化，进而对传统电网建设提出新的挑战。[6]

（二）电网技术优化需求

分布式能源和微电网的接入增加了电力系统的不确定性与复杂性，对电网技术提出了更高的要求。首先，分布式能源，如光伏和风电，由于其输出的不稳定性，使得电网需要具备更强的应对波动的能力。这促使储能技术、柔性输电技术和智能调度技术的发展成为关键。储能系统的应用能够有效平抑分布式能源的波动，增强电力供给的稳定性；而柔性输电设备则可以提升电网的调节能力，从而促进分布式电源的高效并网。其次，传统电网更多关注大规模的功率输送，而在分布式能源密集接入的背景下，大量小功率、高密度的分布式电源接入点显著增加，推动了需求侧响应、数据采集与处理和分布式控制等技术的优化。此外，微电网的推广，使得同一电网内兼具集中式和分布式电源的混合模式逐渐普及，电网的保护、通信和监控技术需要进一步适应这一复杂的运行环境。因此，电网技术优化需求已不仅限于传统的输配电环节，而是向更智慧、更灵活、更安全的方向全面推进。

（三）电网运行模式的变革

分布式能源和微电网的应用正在颠覆传统电网的运行模式。传统电网的运行特点是单向输电，即从大型集中式发电厂向终端用户输送电能。而在分布式能源环境下，电力流动逐渐呈现出双向特点：用户既是电力的消耗者，也是电力的生产者。这种能量双向流动的模式要求电网的运行更加高度动态化和灵活化。微电网在运行模式上还引入了“离网”和“并网”两种运行状态。当外部电网发生故障时，微电网可以切换到独立运行模式，通过自身储能系统和分布式电源为负荷供电，增强了区域用电的韧性。此外，在传统电网中，调度主要由电力公司集中控制，但由于微电网和分布式能源的广泛分布，各主体之间的自主性和交互性增强，对电网的调度系统提出了更加精细化、实时化的要求。因此，未来的电网运行模式将由集中式主导逐渐向集中与分布结合的协同运行模式转变，以满足多样化的电力需求和多层次的电力供给方式。[7]

（四）电力市场的发展变化

分布式能源和微电网的兴起不仅改变了电网物理结构和技术

需求，还对电力市场的发展带来了深远影响。一方面，分布式能源的普及促使传统的单一购电模式向交易多元化转变。用户可以通过微电网或虚拟电厂平台直接参与电力市场交易，将多余的电能出售给其他用户或汇入电网。这种“双向市场”模式激发了用户参与电力市场的积极性，有望进一步推动电力市场从目前的集中式电能交易向更加开放、动态的多边电力交易机制转型。另一方面，分布式能源的多样化和小规模化让电价机制更加弹性化，基于时间和负荷的动态定价模式将逐渐取代传统的固定电价体系。此外，区块链等新兴技术在分布式能源交易中的应用前景广阔，使得交易过程更加透明、高效和可信。整体来看，分布式能源和微电网的发展将推动电力市场逐渐从传统的“生产者－消费者”二元结构迈向多主体协作的复杂生态系统。

综上所述，分布式能源和微电网的发展正在从规划、技术、运行和市场等多个方面深刻影响传统电网的建设方向。电网的未来不仅仅是技术升级的过程，更是模式创新、价值重构的过程，这对传统电力行业既是机遇，也是挑战。[8]

四、对未来电网建设方向的建议

随着分布式能源和微电网技术的快速发展，未来电网建设需要在传统电网的架构基础上进行战略性调整，以适应新的能源格局和社会需求。以下是对未来电网建设方向的几点建议：

（一）推动能源互联网的构建，增强电网的智能化水平

未来的电网需要向能源互联网转型，实现能源生产、传输、存储与消费的深度融合。应大力发展智慧电网，通过人工智能、大数据、物联网和区块链等技术，实现电网运行的实时监测、故障预测和资源优化调度，提高电网的灵活性和效率。此外，还需要加快用户端智能设备的普及，促进各类能源资源的动态对接，以实现用电需求响应的进一步优化。

（二）优化电网的分层结构，增强区域能源自治

传统的集中式电网模式难以满足分布式能源逐渐占优的趋势，未来电网建设需要在全国统一电网框架下，优化分层结构，鼓励地方性区域电网的自治能力。例如，在技术层面发展区域微电网，使其既能独立运行，又能与主电网灵活互联；在管理层面，则需要引入更加分散的调度机制，使各个区域能够快速适应本地的能源需求和供应波动。[9]

（三）加快新能源接入能力的提升，增加电网系统灵活性

分布式能源尤其是可再生能源如太阳能和风能由于具有间歇性和波动性，对电网的灵活性提出了更高要求。未来应推动柔性输配电技术的发展，例如高压直流输电（HVDC）、可控硅柔性转换装置的应用，从而提高电网的故障容忍能力和供电可靠性。此外，大力推进储能技术的研发和应用（如大规模电池储能和抽水蓄能系统），以平衡新能源发电的不稳定性，实现能量的跨时间调节。

（四）强化网络安全和数据保护

随着电力系统的数字化和智能化程度提高，电网面临的网络安全风险日益增加。未来建设中需要重点提升电网通信系统的安全性，通过端到端加密、网络隔离和入侵检测系统等手段防范潜在的网络攻击。同时要完善数据管理制度，保护电网各环节产生的敏感信息，防止数据泄露和滥用。

五、结论

分布式能源与微电网的快速发展正深刻影响着电网建设的方向。传统电网以集中式、大规模电力传输为核心，而在能源转型的推动下，分布式能源和微电网逐渐成为现代电力系统的重要组成部分。这种变革不仅优化了能源资源的利用效率，增强了电网的灵活性和可靠性，还促进了清洁能源的广泛接入，为实现碳达峰与碳中和目标提供了有力支持。

微电网的智能化特性使得电网逐步向分布式与数字化方向发展，通过能量管理系统和双向互动技术，大幅提升了电网运行的智能化水平。同时，分布式能源的大面积布置推动了局部地区能源自给自足的可能性，缓解了传统电网的集中供电压力，开创了“源－网－荷－储”协同优化的新模式。[10]

未来，分布式能源和微电网的进一步发展仍需在技术创新、政策支持和商业模式优化等方面不断探索。如何在提升资源配置效率的同时，确保电网安全稳定运行，将是学术研究和实际应用的重要课题。可以预见的是，这一领域的发展将持续引领电网朝着更绿色、更智能、更弹性的方向迈进，对全球能源体系的升级产生深远影响。

参考文献

[1] 高强，秦晓辉，张媛媛，等. 碳减排需求下面向多元交互策略设计的微电网分布式能源发展规划研究［J］. 电网技术，2024,48(09):3574-3583.

[2] 于洋，杨驿昕. 微电网构建分布式能源多样化应用场景［J］. 能源，2018,(01):75-76.

[3] 赵晨光，徐庆华，张中豪，等. 基于园区微电网设计案例分析的能源互联网研究［J］. 电力与能源，2023,44(03):271-276.

[4] 丁广乾. 含分布式电源的微电网电能质量控制技术研究［D］. 山东：山东大学，2016. DOI:10.7666/d.Y3035087.

[5] 陈少霞，姚钢，周荔丹，等. 基于直流微电网的能源互联网研究［J］. 电器与能效管理技术，2015,(24):24-31.

[6] 陈德志. 户用混合微电网系统的研究［J］. 中国高新技术企业，2013,(13):127-128.

[7] 王玉胜，李智. 建设具有中国特色的智能微电网——本刊专访北京北变微电网公司总经理杜宏［J］. 电气技术，2012,(04):13-15.

[8] 许雅淋，段俊东. 基于阶梯碳交易的综合能源微电网联合控制研究［J］. 热力发电，2024,53(08):105-115.

[9] 牟瑞. 新型储能技术对微电网运行的影响与协同控制策略［J］. 电力设备管理，2024,(15):198-200.

[10] 刘俊峰，罗燕，侯媛媛，等. 考虑广义储能的微电网主动能量管理优化算法研究［J］. 电网技术，2023,47(01):245-255.

核电站仪控领域技能人才培养的研究与思考

赵博

中广核核电运营有限公司，广东 深圳 518214

摘　　要： 核电站仪控领域的技能人才培养是一项关键任务，它直接关系到核电站的安全稳定运行。为此本文提出了优化人才培养方案的具体措施，构建一个完善的课程体系以满足岗位需求、强化实践教学以提高实操能力、多元化培训方式以确保知识更新和技能提升以及加强校企合作以促进人才的实践应用。强调建立一套科学的评估与反馈机制对于持续改进人才培养质量与效果的重要性。

关 键 词： 核电站仪控系统；技能人才；人才培养；优化策略；评估与反馈机制

Research and thinking on the training of skilled talents in the field of instrument and control of nuclear power plant

Zhao Bo

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518214

Abstract: The training of skills in the field of instrument and control is a key task, which is directly related to the safe and stable operation of nuclear power plants. To this end, this paper puts forward the specific measures to optimize the talent training program, build a perfect curriculum system to meet the job needs, strengthen the practical teaching to improve the practical operation ability, diversified training methods to ensure the knowledge update and skill promotion, and strengthen the school-enterprise cooperation to promote the practical application of talents. It emphasizes the importance of establishing a scientific evaluation and feedback mechanism to continuously improve the quality and effect of talent training.

Keywords: nuclear power plant instrument and control system; skilled personnel; personnel training; optimization strategy; evaluation and feedback mechanism

引言

现阶段全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强，促使核电这种清洁、高效的能源形式重要性日益凸显。然而核电站的安全稳定运行离不开先进的仪控系统和专业的技能人才队伍。因此如何培养和提升核电站仪控领域的技能人才，已经成为了当前核电行业面临的重要课题。

一、核电站仪控系统的重要性与复杂性

核电站仪控系统作为核电站的“中枢神经”，其对机组的安全稳定运行发挥着至关重要的作用。它涵盖了计算机技术、信息技术、自动控制、仪表监测、电力电子、系统工程等多个学科，所以其是一个技术含量高、产品更新换代快的综合性、系统性以及技术密集性专业。同时也明确了核电站仪控系统的复杂性，要求技能人才必须具备扎实的专业知识和丰富的实践经验[1]。

二、核电站仪控领域技能人才现状分析

（一）行业需求与岗位要求

如今核电技术的日新月异和核电规模的持续扩张，对于仪表控制技能人才的渴求也随之水涨船高。而这些技术人员不仅需要牢固掌握核电的基本理论知识，其更要能够在实际操作中运用自如。为此要求他们拥有丰富的现场工作经验，能够迅速识别并解决各种复杂问题。同时在这个快速发展的行业中，员工必须保持高度的适应性，要对新兴技术和先进设备有敏锐的洞察力，以保证核电站能在各种环境条件下安全、稳定地运行[2]。因此这些人才被视为保障核电项目顺利进行的关键力量，因为他们的能力直接影响到核电站的运营效率与安全性。

全球对能源安全和环保要求的不断提升，核电行业对具备高水平仪控技能的人才的需求将会更加迫切，而这一职业领域正成为众多求职者竞相追逐的热门选择。

（二）现有人才队伍状况

在当前的核电技术发展背景下，核电站仪控系统的运行和维

作者简介：赵博（1984.06-），男，汉族，山东省淄博市，中广核核电运营有限公司，工程师，本科，研究方向：核电仪控领域检修人才培养。

护对专业人才提出了更高的要求。然而现实情况却是，尽管拥有深厚理论基础和丰富的操作经验，依然有部分仪控人员在新技术的学习与应用上显得力不从心，进而很大程度上限制了整个行业的进步和创新能力[3]。

特别值得注意的是核技术的不断进步，诸如自动化、智能化等新技术的引入为核电站的安全稳定运行提供了新的解决方案。但遗憾的是，实践中一些资深工程师对于这些新兴技术的了解仅停留在表面，因为缺乏深入的实践操作，从而使得他们无法充分发挥现有知识的潜力。

此外年轻一代员工面临的挑战同样不容忽视。由于缺少必要的培训和实践机会，因而他们往往难以快速成长为能够独当一面的人才。如此一来不仅影响了人才梯队的建设，同时也制约了企业未来的发展。因此相关行业针对年轻人的培训和实践机会亟需加强，以确保他们能够跟上行业发展的步伐，促使其成为核电站不可或缺的宝贵力量[4]。

三、技能人才培养面临的挑战

核电站仪控领域技能人才培养是核电行业发展的重要组成部分。目前随着核电技术的不断进步和核电站规模的扩大，其对仪控领域技能人才的需求也在不断增加。而为了满足这一需求，核电企业就需要加强仪控领域技能人才的培养。

（一）教育体系与实践脱节

在当今这个快速发展的时代，教育领域正面临着一项艰巨而紧迫的任务，即如何更好地培养能够满足未来核电站仪控岗位需求的高技能专业人才。遗憾的是，现行的教育体系显然未能跟上这一技术进步的步伐。实践中课程内容与实际操作之间存在明显的差距，并且教学内容常常跟不上技术的更新速度，以至于学生们在完成学业后往往会发现自己缺乏足够的能力去应对工作中可能遇到的问题。而这种脱节的现象影响了学生对知识的掌握和理解，也削弱了他们作为核电行业未来领导者的适应性和竞争力。所以为了确保新一代的仪控技能人才能够顺利过渡到职场，教育体系必须进行彻底的改革，确保能够更紧密地将理论与实践相结合，从而提高毕业生的就业质量和行业的整体水平[5]。

（二）技术更新换代快

核能领域的技术快速更迭已经成为一种常态。而核电站的仪控技术就是这一变化中最为显著的一个方面，它要求操作人员不仅要有扎实的专业知识基础，并且还需要对最新的技术动态保持高度敏感和学习能力[6]。但随着自动化程度的不断提高，以及新技术、新设备的快速引进，使得传统的培训模式和教育体系显得有些力不从心。

但此时快速发展的趋势依然对技能人才提出了更高的挑战。一方面他们必须通过不断学习来掌握新工具和系统的操作方法；另一方面由于技术发展迅猛，使得一些关键的技术壁垒也相应地形成了，而这些壁垒阻碍了新信息和技能的流通。此外学习资源的不均衡分配，特别是针对那些偏远地区或经济欠发达地区的员工来说，该现象更是加大了他们追赶技术发展步伐的难度。

（三）培训资源有限

核电站仪控领域当中的培训资源颇为稀缺。原因是这一领域涉及的培训设施通常规模较小，所以就难以提供足够的实践操作空间和模拟环境，来满足日益增长的技术需求[7]。同时相关的教育资源也相对薄弱，具体表现为专业教师队伍规模有限，且教学内容和方法往往过时，进而无法跟上行业最新发展的步伐。在这些因素共同作用下，限制了学员们理论与实践相结合的能力培养，并且也影响了他们技术水平和创新思维的培养，最终在一定程度上阻碍了技能人才的成长和职业发展。

四、人才培养的优化策略与建议

核电站仪控领域技能人才培养是核电行业持续发展和安全保障的重要保障。在实践中只有不断加强人才培养，才能满足核电行业对高素质技能人才的需求，进而推动核电事业的健康发展。

（一）构建完善的课程体系

为了满足核电站仪控领域对专业人才的高标准要求，核电行业着手构建了一个全面而细致的课程体系。其中不仅包括了深入的基础理论知识，以确保学生能够掌握核能安全运行和维护的核心概念，同时也涵盖了大量实践操作技能课程，即通过模拟和实际设备的操作训练来提高学生的实操能力[8]。此外针对新兴技术的快速发展，对于课程设计还特别融入了新技术课程，以确保能保持教育内容的前沿性和实用性，并让学生能够紧跟技术进步的步伐。

另外在教学过程中，教育者们要特别重视课程的不断更新与优化，确保教学内容能够适应行业的发展趋势，从而确保教学质量始终处于行业领先水平。相信通过这样全方位的课程设置，能够培养出既具备扎实理论基础又能熟练应用先进技术的复合型人才，进而为核电站仪控行业输送源源不断地新鲜血液。

（二）强化实践教学环节

相关高校想要全面提升学生的综合素质，就必须在教学过程中加大实践环节的比重。具体来说，其可以通过模拟实验，来为学生们模拟真实工作环境中可能遇到的各种情况，并让学生在安全可控的条件下进行操作和实验，以此锻炼他们的动手能力和问题解决技巧。同时现场操作也是不可或缺的一环，它能让学生亲身体验实际工作流程，帮助其更好地理解理论知识与实践技能之间的联系[9]。

基于此学校还应该积极地引导学生参与到科研项目中去，因为通过这些项目，学生能够深化对专业知识的掌握，并且还能够将所学知识应用于解决实际问题的过程中。最终为他们将来踏入社会、成为具有创新精神和实践经验的专业人才打下坚实的基础。

（三）多元化培训方式

现阶段相关高校已经采取了一系列多样化的培训策略，以适应并满足各类人员的个性化学习需求。而这些培训方式涵盖了线上学习平台的使用、线下课程的实地操作以及传统的师徒传承模式。所以通过这种多管齐下的方法，可以确保教学方式触及到每

个人的学习节奏和偏好。

在这一过程中，教育者们还需要特别重视培训资源的有效整合与优化，以提升培训的整体质量和效率。为此资源通过精心挑选和搭配最合适的学习材料、实践工具和指导老师，为学员提供一个全面而深入的学习环境，从而达到最佳的学习效果。

（四）加强校企合作与产学研联动

企业与高等院校、科研机构建立更为紧密的伙伴关系，就可以实现资源共享、优势互补，从而共同推动人才培养体系和科研项目的进步与创新。而这种合作模式不仅有助于加速科研成果的转化，其还能够促进高素质人才的快速成长，进而为企业的持续发展注入新的活力和动力。因此在当前的经济社会发展背景下，企业与高等教育机构之间的合作显得尤为重要。

特别是在技术日新月异、市场竞争激烈的今天，产学研的紧密结合更是成为了企业立足长远、提升竞争力不可或缺的战略选择。借助联合开展科研攻关、学术交流和实践教学等活动，企业可以及时了解行业动态，并把握科技前沿，而高校和科研机构则能为企业提供理论支撑和实际操作经验，两者相辅相成、相得益彰。

因此加强校企合作，并构建一个互惠互利、共赢共生的合作平台，对于相关行业实现技术创新、培养高层次人才、推动产业升级具有重大意义。这样一来不单能够加速科技成果的产业化进程，也能够激发全社会创新创业活力，最终为经济社会发展注入强大的内生动力[10]。

五、人才培养的评估与反馈机制

（一）建立科学的评估指标体系

为了培养出适应社会发展需求的高素质人才，相关教育者必须构建一个全面而科学的评估指标体系。该体系应当涵盖技能的全面性，从基础操作到高级技术都应有明确的评估标准；同时该体系还需要评估员工在日常工作中展现出来的表现，如责任心、团队合作精神以及解决问题的能力等；此外对于创新能力的衡量也不容忽视，因为它反映了员工是否能够主动寻找新思路，以及能否提出创新解决方案的能力。

借助该体系定期对评估指标进行复查和更新，从而可以确保我们的人才培养计划始终保持与时俱进，使其既符合行业标准，又能激发员工潜能，从而促进他们在职业道路上不断进步。

（二）定期评估与动态调整

在实践中想要不断地提高人才培养的质量和效果，就必须建立起一套严格而系统的评估机制。而这一机制需要涵盖课程体系的全面性与科学性，并且还应当包括对实践教学环节的重视程度以及培训方式的多样性和适应性。此时通过定期的评估，相关教育者们就可以及时地发现并纠正培养过程中存在的不足之处，以此确保每一个细节都能够得到充分的关注。不仅如此，其进行这种基于评估结果的持续调整和优化，将有助于在实践中构建出更加高效、更具针对性的人才培养策略。因为这样能确保每一位被培养者都能够在其专业领域内获得最优的发展机会，同时其也保证了人才培养工作的长远目标得以实现，即促进人才全面成长和组织的长远发展。

六、结语

核电站仪控领域技能人才培养是一个长期而复杂的过程。实践中通过构建完善的课程体系、强化实践教学、多元化培训方式及加强校企合作等优化策略，可以有效地提升技能人才的综合素质和实践能力。同时建立科学的评估与反馈机制，对于教育者确保人才培养的质量与效果具有重要意义。未来我们依然会继续探索和实践更加高效的人才培养模式，不断地为核电站的安全稳定运行提供有力的人才保障。

参考文献

[1] 刘双金，金征盈，何超. 核电站数字化仪控 TXP 系统升级改造研究［J］. 自动化仪表，2020,41(12):81-85.

[2] 张勇涛，马光强，杜乔瑞. 核电站数字仪控系统信息安全隐患分析及应对策略［J］. 自动化博览，2013,30(02):48-49+53.

[3] 王丽娟. 核电站数字化仪控安全级报警系统设计与应用［J］. 自动化仪表，2021,42(S1):52-54+59.

[4] 曾丝竹，赵友有. 核电站仪控系统网络安全标准研究分析［J］. 仪器仪表用户，2021,28(12):71-77.

[5] 赵岩. 核电站中的数字化仪控系统技术成熟度评价［J］. 电子技术，2023,52(04):356-357.

[6] 王传辉. 核电站数字化仪控系统改造研究［J］. 现代工业经济和信息化，2023,13(04):306-308.

[7] 罗慧，李建伟，王翔宇. 核电站仪控系统故障风险分析方法［J］. 核动力工程，2024,45(02):218-224.

[8] 朱高斌. 核电站数字化仪控系统信息安全风险分析和应对［J］. 电工技术，2024,(07):223-225+229.

[9] 邓红雷，李力行，涂画，等. 基于改进 TFDR 法的核电站仪控电缆断裂缺陷检测［J］. 电力工程技术，2024,43(04):177-185.

[10] 洪诗鑫，何程，彭沛星. 核电厂堆外核仪表接口与定期试验架构方案浅析［J］. 电子技术应用，2021,(S1):74-80.

大数据在供电营销电费核算中的应用实践

郝明霞
国网晋城供电公司，山西 晋城 048000

摘　　要： 随着信息技术的飞速发展，大数据在供电营销电费核算领域得到了广泛应用。本文通过对大数据在供电营销中的应用背景、具体的应用实践、面临的挑战和效果进行了探索，目的是证明大数据是如何提高电费核算的精度、效率和智能化水平的，从而为供电公司的电费管理工作提供强有力的支撑，推动供电市场的优化和发展。

关 键 词： 大数据；供电营销；电费核算；应用实践

The application practice of big data in electricity pricing for power supply marketing

Hao Mingxia
State Grid Jincheng Power Supply Company, Jincheng, Shanxi 048000

Abstract: With the rapid development of information technology, big data has been widely used in the field of power supply marketing and electricity cost accounting. This article explores the application background, specific application practices, challenges, and effects of big data in power supply marketing, with the aim of demonstrating how big data can improve the accuracy, efficiency, and intelligence level of electricity bill accounting, thereby providing strong support for the electricity bill management work of power supply companies and promoting the optimization and development of the power supply market.

Keywords: big data; power supply marketing; electricity bill accounting; application practice

随着数字时代的到来，供电企业面临着客户数量不断增加、用户市场环境复杂多变等问题。电费核算是供电营销中最重要的一环，它的准确与否直接影响着供电企业的经济效益与顾客满意程度。传统的电费核算模式在处理海量电力数据时，已逐渐暴露出数据处理速度慢、准确性难保证、电费风险难以发现等缺陷。大数据技术的兴起为解决这一难题开辟了一条新途径，通过对海量、多源、异构的电力消费数据的采集、存储、分析与应用，可以实现电费核算的精细化和智能化，促进供电销售业务工作迈向更高水平发展。

一、大数据在供电营销电费核算中的应用背景

（一）供电企业数据量的增长

随着智能电表的普及，用电信息采集系统的逐步完善，供电企业已积累了大量的用电数据，如用电负荷、用电时间、电压电流、功率因数等。随着电力市场规模的不断扩大，各种类型的数据也越来越多，传统的数据管理与处理方法已经很难满足电费核算对数据准确、及时的需求[1-2]。

（二）电费核算准确性和效率的要求

电费核算涉及的计费参数多，计费规则复杂，任何一个环节出错，都有可能造成电费计算失误，从而引起用户投诉，给企业带来经济损失。与此同时，随着电力市场化改革的推进，电费结算周期越来越短，给电费核算带来了很大的挑战。大数据技术可以通过对数据进行自动处理，并结合智能化的分析算法，有效地提高电费核算的精度与效率。

（三）提升客户服务质量的需求

准确及时的电费结算与通知对于提高客户服务水平具有重要意义。通过大数据分析，能够对客户的用电行为特点、用电习惯进行分析，为客户提供个性化的用电账单及缴费提醒服务，提升客户对供电公司的信任度与满意度。

二、大数据在供电营销电费核算中的具体应用实践

（一）数据采集与整合

（1）建立多源数据采集体系

通过使用智能电表、用电信息采集终端、销售业务系统等各种设备及系统，对用户用电、客户档案、电价政策等进行全面的采集。同时，也可将气象部门的气象资料、GIS地理资料等外部资料进行整合，为电费核算提供更为丰富的参考依据[3]。

（2）数据清洗与预处理

通过对收集到的大量数据进行清理，剔除无效、重复、错误数据，提高数据质量。在此基础上，完成了数据格式转换、数据规范化等预处理工作，以满足后续分析、核算的需要。例如，为了准确地计算电费，可以把不同格式的用电数据统一转换成标准

的电容量单位。

（二）电费核算模型构建与优化

（1）基于大数据的电费计算模型

运用大数据分析技术，构建更为精确的电费核算模型。该模型能够根据用户的历史用电数据、用电行为模式和实时用电数据对收费参数进行动态调整，例如基本电费、电度电费、功率因数调整电费等计费参数的计算方法。例如，对某些负荷波动较大的工业用户，可采用实时功率因数调整电费的方法，使用户用电成本更公平、更合理。

（2）模型优化与验证

通过不断引入新数据样本，调整模型参数，不断优化电费计算模型。同时，结合电力市场的历史数据及实际电价数据，对模型进行验证，以保证模型结果的准确可靠。例如，将模型计算出的电费和实际收取的电费进行对比，并对产生差异的原因进行分析，从而提出有针对性的改进方案。

（三）异常用电行为监测与分析

（1）用电数据实时监测

利用大数据处理平台，实时监控用户用电数据，设置异常用电阈值。当用户的用电量、用电量、功率因数等超出正常值时，系统会自动报警。比如，某用户在一段时间内用电突然大幅度增长，可能会出现“窃电”“设备故障”等不正常现象。

（2）异常行为分析与处理

对监测到的异常用电行为进行深入分析，采用数据挖掘算法对数据中的异常行为进行挖掘。对于疑似窃电行为，及时安排工作人员到现场核查、核实，依法依规处理；当设备出现异常用电时，应及时通知用户检修，避免事故扩大，造成更大损失。通过监控和分析异常用电行为，可以有效地减少电费流失的风险，维护供电企业的合法权益。

（四）客户细分与个性化服务

（1）客户用电行为特征分析

在分析大量用户用电数据的基础上，提取出用户用电峰谷时段、用电季节变化、用电稳定等行为特征。按照这些特点对用户进行了分类，如：居民用电，商用用电，工业用电，大工业用电等，以及高耗能用户、节能型用户等不同用电模式的用户群体。

（2）个性化电费账单与服务

为客户提供个性化的电费结算及服务。对居民用户而言，可采用简洁明了的电费单格式，突出用电量、用电金额、缴费时间等关键信息，并对用电优惠政策进行解释；为商业用户、工业用户提供详尽的电力成本分析报告，帮助用户优化用电计划，减少电费支出。同时，针对客户的缴费习惯，通过短信提醒、微信公众号提醒等方式，提高客户缴费的及时性和便利性[4-5]。

三、大数据应用面临的挑战

（一）数据安全与隐私保护

在大数据应用过程中，会产生大量含有隐私信息的用户用电数据。如何保证数据在采集、传输、存储、分析等各个环节的安全，有效地防止数据泄漏或被非法利用，是电力公司面临的一个重大挑战。为了更好地保护数据，必须建立健全的数据安全管理系统，采取加密技术和访问控制技术。

（二）技术人才短缺

大数据技术的应用要求高素质的专业人才，如数据挖掘，分析，建模等。但是，传统的供电企业人才结构主要由电力工程师组成，大数据方面的专业人才相对缺乏。企业应加大对大数据人才的引进与培养，提升员工在大数据技术方面的应用能力，以适应业务发展的需要。

（三）系统集成与数据共享

在供电企业中，存在着市场营销、生产、财务等多个业务系统，各业务系统之间存在着信息孤岛现象。为了有效地应用大数据进行电费核算，必须实现系统集成与数据共享，打破系统间的壁垒。但是，由于不同系统之间的技术体系结构、数据标准以及接口规范等方面的差异，使得系统的集成与共享变得非常困难。

四、大数据应用取得的成效

（一）电费核算准确性显著提高

随着大数据技术与电费核算过程的深度融合，利用其强大的数据处理能力，可以全方位、高精度地对海量电力数据进行分析。在综合挖掘和分析历史用电量、实时监测数据和各种相关数据的基础上，建立更加科学合理、动态适配的电费核算模型。该模型有效地避免了传统方式中由于数据采集不准确和计费规则解释不一致而造成的电费计算错误。经过实践证明，电费核算的准确性比过去的传统方式有了很大的飞跃，大大减少了客户的投诉，提高了客户的满意度，为建立供电公司和客户之间更和谐、更稳定的供、用关系打下了良好的基础[6-7]。

（二）电费核算效率大幅提升

大数据处理平台具有强大的数据处理能力，能够高效地对海量电力数据进行快速分析和集成，实现电费核算的自动化和规模化。过去的电费核算需要10天的时间，在大数据的帮助下，缩短到了3天[8-10]。这既满足了电力市场改革对电费结算及时性的严格要求，又大大减轻了工作人员的繁重劳动负担，让他们摆脱了烦琐的核算事务，把精力放在了更有价值的电费管理优化工作上，使总体工作效率和质量得到了明显提高。

（三）电费风险防控能力增强

异常用电行为监测与分析系统犹如敏锐的电网卫士，利用大数据技术强大的计算能力和深度挖掘能力，可以实时捕捉用电数据中的异常波动，准确地发现潜在的用电风险，如窃电行为和不良用电倾向等。一旦察觉到风险，系统就会迅速发出警报，智能制定相应的对策，进行有效的预防和应对。因此，供电公司降低了电费的损失率，有力地维护了供电企业经济效益的根基。

（四）客户服务质量得到优化

为用户提供个性化的用电计费及服务，以满足不同用户群体的需要，提高用户对电费的理解与接受程度。个性化缴费提醒服务有效地增强了客户缴费的自觉性和及时性，大大提高了客户缴

费率。同时，通过分析客户的用电行为，提出优化用电方案，帮助客户减少电费支出，提高客户对供电公司的信任度和忠诚度。

五、结论

将大数据应用于供电营销电费核算，不仅具有现实意义，而且有着广阔的应用前景。通过在数据收集与集成、电费核算模型构建与优化、异常用电行为监测与分析、客户细分与个性化服务等方面开展应用研究，有效提升电费核算的精度、效率与智能化水平，增强供电企业电费风险防控与客户服务品质。然而，其在实际应用中还面临着数据安全和隐私保护、专业人才匮乏、系统集成和共享等问题。供电企业应对上述挑战，持续完善大数据应用系统，充分发挥大数据技术在供电营销电费核算方面的优势，促进供电企业持续发展，促进电力产业数字化转型。

参考文献

[1]杨明. 供电企业电费回收管理及电费核算问题分析［J］. 技术与市场，2021,28(09):182+184.

[2]徐婷. 供电企业电费回收管理及电费核算策略探析［J］. 农电管理，2020,(07):41-42.

[3]陈晓健. 大数据分析技术在电费核算业务中的应用实践［J］. 科技创新导报，2018,15(21):144-145.

[4]陈琦，王路，宁向南，等. 市场化售电背景下的电费精准核算算法优化设计［J］. 自动化应用，2021,(06):101-102+105.

[5]刘依伶. 基于数据挖掘下电费精准核算算法优化设计分析［J］. 电气技术与经济，2022,(05):196-198.

[6]陈茜. 基于电力营销大数据的数字化管控策略分析［J］. 电子技术，2023,52(12):246-247.

[7]吴旭亮，侯加庆，丁玲. 电力大数据在电力客户精准营销中的运用［J］. 集成电路应用，2023,40(12):264-265.

[8]刘梦颖. 大数据分析技术在用电核算中的应用［J］. 集成电路应用，2023,40(03):340-341.

[9]李姝锦，李佳婧. 大数据分析技术在用电核算中的应用［J］. 数字化用户，2023,29(20):94-96.

[10]陈晓健. 大数据分析技术在电费核算业务中的应用实践［J］. 科技创新导报，2018,15(21):144-145.

基于碳化硅技术的双向 PCS 设计分析

樊聪亮

上海匡盈电气有限公司，上海 201105

摘　　要： 进行基于碳化硅技术的双向 PCS 设计分析，通过资料搜集、理论研究，阐述碳化硅技术、双向 PCS 定义，阐述基于碳化硅技术的双向 PCS 设计优势，如耐高温、耐高频、更小的尺寸等，围绕双向 PCS 设计准备、进行 PCS 系统架构、双向 PCS 调制展开了精细化讨论，给出具体的双向 PCS 系统设计流程，发挥碳化硅技术优势。得出如下结论：实现碳化硅技术的灵活应用，搭建了更加灵活、更具适用性的双向 PCS 系统，实现不同环境下的电能转换，提升电能利用效率。

关 键 词： 碳化硅技术；双向 PCS；设计；优势；策略

Analysis of bidirectional PCS design based on silicon carbide technology

Fan Congliang

Shanghai Kuangying Electric Co., Ltd. Shanghai 201105

Abstract: This paper presents an analysis of bidirectional PCS design based on silicon carbide technology. Through data collection and theoretical research, it elaborates on the definitions of silicon carbide technology and bidirectional PCS, and expounds on the advantages of bidirectional PCS design based on silicon carbide technology, such as high temperature resistance, high frequency resistance, and smaller size. The paper discusses the preparation for bidirectional PCS design, PCS system architecture, and bidirectional PCS modulation in detail, and provides a specific design process for the bidirectional PCS system that leverages the advantages of silicon carbide technology. The following conclusions are drawn: the flexible application of silicon carbide technology enables the construction of a more flexible and applicable bidirectional PCS system, which achieves power conversion in different environments and improves power utilization efficiency.

Keywords: silicon carbide technology; bidirectional PCS; design; advantages; strategy

引言

双向 PCS 作为电能利用领域的重要组成部分，一直备受重视，但在国家提出环保理念、可持续发展政策的大环境下，依托于传统材料、架构的双向 PCS 系统已经逐渐难以满足需求。基于此，为提升双向 PCS 系统，拓展应用空间，保持应用流程稳定性，引入更具优势的碳化硅技术，解决双向 PCS 系统以往应用弊端的同时，丰富双向 PCS 系统功能。

一、主要概念阐释

1. 碳化硅技术

碳化硅是一种适用于高频、高压的半导体材料，对比传统硅基材料，碳化硅更能“耐得住”高温与高压，其中临界击穿电场达到2MV/cm(4H-SiC)；散热容易，碳化硅的热导率是硅的三倍，能在高温环境下正常工作。

2. 双向 PCS

双向 PCS，即 Power Conversion System，释义为电力转换设备，用于储能系统、电网间的能量转换，突出灵活性强、可靠性高、响应快速、效率高等优势。作用原理如下：控制功率电子元件关断、导通，实现电力双向转换，电网供电时，将多余电能存储到电池中，电网断电时，释放出存储电能。通过 PCS 装置可接收控制指令，结合指令内容调控变流器对电池的充放电，进行电网灵活调节[1]。

二、基于碳化硅技术的双向 PCS 设计优势

总结基于碳化硅技术的双向 PCS 设计优势，主要体现在：其一，对比其他材料，碳化硅有着更高的电子漂移速率、临界电场、热导性等，能让双向 PCS 在各种环境下维持稳定的工作状态，提升系统的功率密度、转换效率，如碳化硅 MOSFET 系统能量损失＜ 1/4 硅基 IGBT、其二，耐高频特性，基于碳化硅的双向 PCS 系统子啊关断时不会出现电流拖尾问题，可显著加快元件开关速度[2]。其三，降低双向 PCS 重量、体积，碳化硅器件有着更小的尺寸、更低的阻抗，能减小产品重量、体积，如 5kW 的 LLC

作者简介：樊聪亮(1983.09-)，男，汉族，本科学士，上海市，中级工程师(电气)，研究方向：电气。

DC/DC转换器，引入碳化硅器件，能将转换器重量从7kg降低到0.9kg，体积也能从8755cc缩减至1350cc。其四，保障PCS系统稳定性，减少电磁干扰，保障系统稳定。

三、基于碳化硅技术的双向PCS设计策略

1.双向PCS设计准备

（1）主电路设计：按照双极拓扑结构设计主电路，由PWM变流器、DC/DC变换器组成，主电路拓扑是T型三电平逆变电路，每相4个开关管，调控开关管通断关系、电位状态；系统接入多组碳化硅电池，并控制多组电池组的充电过程；滤波器，双向PCS系统主电路选择三相全桥电路，在直流侧布置碳化硅有源滤波器，交流侧布置LCL滤波器，减少谐波。

（2）控制算法应用：开发更先进的控制算法，实现对碳化硅有源滤波器的精准控制，采用人工智能算法和自适应控制技术，根据电网的实时运行状态自动调整滤波器的参数，提高电能质量治理效果；合理选择开关频率、采用软开关技术和优化开关时序等方法，可以在保证滤波器性能的前提下，降低开关损耗和电磁干扰，提高系统的效率和稳定性[3]。

（3）集成化设计：进行PCS系统集成化设计，将碳化硅器件与其他电子元件进行高度集成，减少外部连接线路和寄生参数，降低设备的体积和重量，提高功率密度。

2.进行PCS系统架构

进行PCS系统架构，凸显碳化硅技术价值，灵活应用碳化硅技术、计算机网络、计算技术等，生成PCS框架，进行系统功能模块配置，结合双向PCS功能定位、PCS技术性能特征，进行各项功能模块配置，如表1所示。

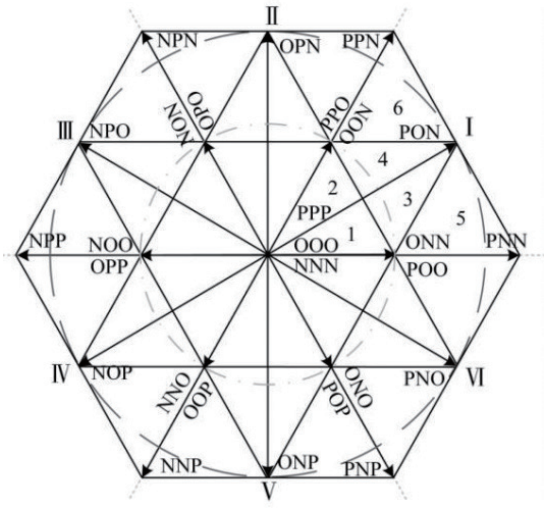
表1 基于碳化硅技术的双向PCS系统功能表

序号	功能模块	特征
1	DSP主控单元模块	（1）指令解码，将输入双向PCS系统的指令解码为处理器等设备能直接执行的机器语言。 （2）流水线调度，规范各类指令执行顺序，让处理器能初步处理多项指令。 （3）数据传输，读取、写入相关数据，实现数据在处理器、外部存储器的顺利传输；整体操作，管理DSP处理器各类操作，如协调不同功能模块作用进程、维持处理器稳定等。
2	数据采集与记录模块	（1）通过双向PCS系统监控碳化硅储能系统状态，包括电池温度、电流、电压、充放电参数等，这对PCS系统能源管理、优化极其重要。 （2）数据采集，包括三相（A相、B相、C相）线电流、三相相电压、母线电压等。在双向PCS系统中配置数据处理app，记录检测数据，以图表形式呈现。
3	驱动电路	（1）逆变功能，将碳化硅电池输出的直流电转换成交流电，注入电力网络，结合电网运行需求设置调节功率。 （2）交流功能，进行电力网络中交流电→直流电的转换，灵活调控功率半导体器件开关状态，为碳化硅装置等提供直流电，结合实际调控充放电功率。
4	通讯功能	双向PCS系统支持以太网、CAN、RS485等通讯方式，并能接收电池管理系统、系统调度指令，保障系统稳定、高效运行。

3.双向PCS调制

采取空间矢量脉宽调制方法（SVPWM）进行PCS系统交流电压控制，提升输出电压效率、质量，在多频电路中输出较高电压调制率。

（1）空间电压矢量。双向PCS系统T型三电平逆变电路中A相、B相、C相均有三种电位，三相组合得出27种空间电压矢量，矢量图如图1所示，结合矢量幅值分类，共计6个大矢量、6个小矢量、6个中矢量、12个正负小矢量、3个零矢量，针对图中的七段式SVPWM，进行电压矢量调控时，从负小矢量开始，按照“中心对称”的形式开始作用。



> 图1 双向PCS系统空间电压矢量图

（2）锁相环设计：锁相环，是通过相位同步原理形成电压以调谐压控振荡器，自动跟踪相位、信号频率的一种负反馈控制系统，由压控振荡器、环路滤波器、鉴相器等组成[4]。结合碳化硅技术作用原理灵活选择锁相环技术类型，如双二阶广义积分器锁相环、解耦双同步参考坐标系锁相环、同步坐标系锁相环、乘法锁相器锁相环等，对比分析各类锁相环技术，选择锁相精度更高、稳定性更好的双二阶广义积分器锁相环，通过相电压采样方式控制锁相过程，且针对基于碳化硅技术的双向PCS，有着更高的开关频率。且本次PCS系统设计是三相三线制，整体结构比较简单，可通过线电压直接控制锁相，保持锁相稳定[5]。三相相电压与两相静止坐标系下 α 轴、β 轴分量关系式，如公式1所示：

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} \quad （公式1）$$

公式1中，U_a、U_b、U_c指的是PCS系统三相相电压；U_α指的是 α 轴分量，U_β指的是 β 轴分量。

明确三相电网体系中，线电压、相电压存在的关系，如公式2所示：

$$\begin{cases} U_{ab} = U_a - U_b \\ U_{bc} = U_b - U_c \\ U_{ca} = U_c - U_a \end{cases} \quad （公式2）$$

为明确线电压、两相静止坐标系之间的分量关系，可将公式2代入公式1中，构造可逆矩阵，反变换处理，支持锁相控制进程。

（3）并网电网正负序分离控制：在双向PCS电网电压出现波动时，分析并网电流值、波动趋势，实施正负序分离控制，保持三相电流平衡，为双向PCS系统的稳定使用提供良好的环境。要做好该项工作，跟踪、记录并网电流，保持电流正负序分离软件带宽尽量宽，可选择全通滤波器，可直接构造正交信号、同相信号，基于此再进行并网电流正负序分离。此外还需考虑三相交变电流变换等因素带来的影响，完善分离控制机制，避免出现意外状况。

四、结语

综上，文章就基于碳化硅技术的双向PCS设计展开讨论，按照双极拓扑结构设计主电路、T型三电平逆变电路架构展开设计进程，发挥碳化硅技术优势，并在设计进程中注意参考其他相关资料，确保了设计过程的可靠性，提升了双向PCS系统稳定性，并留出了优化空间。但研究过程仍有一定不足，主要是本次研究主要集中在理论层面，在引入实际双向PCS系统设计时，还需考虑到系统软硬件、设计技术等带来的影响，进一步完善设计方案，以此来提升设计效果。

参考文献

[1]张婉婕，谢晨，王明杰，等. 碳化硅木陶瓷衍生碳材料制备及其电容性能［J］. 东北林业大学学报，2022(8):50.

[2]陈义，邱海鹏，陈明伟，等. PCS/VHPCS复相碳化硅先驱体的制备及性质研究［J］. 陶瓷学报，2024(1):150-155.

[3]陈旭海，陈延联，陈佳桥，等. 基于等电感能量变化率的PCS充放电切换控制［J］. 电力电子技术，2021,55(01):22-25.

[4]王璐. 分布式新能源发电储能变流器PCS控制策略研究［D］. 湖南大学，2021.

[5]刘松，杨月华. 两台储能变流器(PCS)同时接入一台变压器时对预充电回路的影响［J］. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2023(12):33-37.

火电厂燃料消耗的深度学习预测与能效提升路径探索

吴韬

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

摘　　要： 本文探讨了火电厂燃料消耗的深度学习预测方法及其能效提升路径。通过构建深度学习模型，对历史燃料消耗数据进行分析和建模，实现了对未来燃料消耗的准确预测。同时，文章还提出了多项能效提升路径，旨在降低火电厂的能源消耗，提高能源利用效率。研究结果表明，深度学习预测模型具有较高的准确性，能效提升路径的实施效果显著。

关 键 词： 火电厂；燃料消耗；深度学习；能效提升；预测模型

Deep learning prediction of fuel consumption in thermal power plants and exploration of energy efficiency improvement path

Wu Tao

Guizhou Xidian Power Co., Ltd. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract: This paper discusses the deep learning prediction method of fuel consumption in thermal power plants and its energy efficiency improvement path. By constructing a deep learning model, analyzing and modeling historical fuel consumption data enables accurate prediction of future fuel consumption. At the same time, the paper also proposes a number of energy efficiency improvement paths, aiming to reduce the energy consumption of thermal power plants and improve energy efficiency. The results show that the deep learning prediction model has high accuracy, and the implementation effect of the energy efficiency improvement path is significant.

Keywords: thermal power plant; fuel consumption; deep learning; energy efficiency improvement; prediction model

火电厂作为能源供应的重要来源，其燃料消耗和能效问题一直备受关注。传统的能源消耗预测方法存在局限性，难以准确反映火电厂燃料消耗的实际情况。深度学习作为一种新兴的机器学习技术，具有强大的数据处理和模式识别能力，为火电厂燃料消耗的预测提供了新的思路。本文旨在通过深度学习预测模型，实现对火电厂燃料消耗的准确预测，并探索能效提升的有效路径。

一、火电厂燃料消耗的深度学习预测

（一）数据收集与预处理

在火电厂燃料消耗的深度学习预测中，数据收集是首要步骤。需要从火电厂的数据库中，系统地收集历史燃料消耗数据。这些数据应涵盖煤炭、燃油等不同燃料的消耗量，以及相关的运行参数，如发电量、设备运行时间等。这些数据对于后续的分析和预测至关重要，因为它们能够反映出火电厂在不同运行条件下的燃料消耗情况。数据收集完成后，接下来进行数据清洗和预处理工作。这一环节的目标是去除数据中的异常值和缺失值，确保数据的质量和一致性。异常值可能是由于传感器故障、数据记录错误等原因产生的，它们会对预测模型的准确性产生负面影响。因此，需要利用统计方法和数据可视化工具，识别并剔除这些异常值[1]。

（二）深度学习模型构建

在火电厂燃料消耗的深度学习预测中，模型构建是核心环节。基于先进的深度学习框架，如 TensorFlow 或 PyTorch，构建包含多层感知器（MLP）和循环神经网络（RNN）等结构的预测模型。MLP 作为基础的神经网络结构，能够捕捉输入数据与目标变量之间的非线性关系；而 RNN 则擅长处理时间序列数据，能够捕捉数据中的时间依赖性和动态变化。为了构建出性能优异的预测模型，需要对模型参数进行细致的调整[2]。这包括神经网络的层数、每层的神经元数量、激活函数的选择等。同时，训练策略也至关重要，如学习率的设定、批量大小的选择、正则化方法的应用等，都会影响到模型的训练效果和泛化能力。

（三）模型验证与评估

在火电厂燃料消耗的深度学习预测中，模型验证与评估是确保模型实用性和准确性的关键步骤。采用独立的测试集，即那些

作者简介：吴韬（1989.09-），男，苗族，贵州省铜仁市人，本科，工程师，研究方向：火电厂集控运行管理；火电厂燃料管理。

未在模型训练过程中使用过的数据，对深度学习模型进行严格的验证和评估。这一做法能够客观地反映模型在实际应用中的表现，避免过拟合等问题的发生[3]。通过对比预测结果与实际燃料消耗数据，可以直观地评估模型的准确性和可靠性。如果预测结果与实际数据高度一致，说明模型具有较高的预测精度；反之，则需要进一步分析模型的不足，并采取相应的改进措施。此外，对模型的预测误差进行深入分析也是至关重要的。需要了解误差的来源和分布，如是否由数据噪声、模型结构不合理或训练不充分等因素引起。

二、火电厂燃料消耗的深度学习预测模型的应用

（一）燃料库存管理

火电厂的燃料库存管理是确保电力生产稳定进行的关键环节。利用深度学习预测模型，可以对未来一段时间内的燃料消耗量进行精准预测，为火电厂的燃料库存管理提供强有力的科学依据。通过预测模型，能够提前了解火电厂在不同运行条件下的燃料需求情况。根据预测结果，火电厂可以更加合理地安排燃料的采购和储存计划，避免燃料短缺或积压的问题发生。这不仅可以确保电力生产的连续性和稳定性，还可以有效降低燃料成本，提高火电厂的经济效益。同时，深度学习预测模型的应用还可以帮助火电厂优化燃料库存结构，减少库存资金的占用，提高库存周转率[4]。通过实时监测燃料库存情况和预测未来的燃料需求，火电厂可以更加灵活地调整库存策略，实现库存的精细化管理。总之，深度学习预测模型在火电厂燃料库存管理中的应用具有广阔的前景和重要的价值。

（二）能源调度与优化

深度学习预测模型在火电厂的能源调度与优化中发挥着至关重要的作用。通过将预测模型集成到能源调度系统中，能够根据实时的燃料消耗预测结果，灵活调整发电计划和燃料消耗策略。具体来说，预测模型能够提前揭示火电厂在未来一段时间内的燃料需求趋势。基于这些预测信息，能源调度系统可以更加精准地制定发电计划，避免发电过剩或不足的情况。同时，通过优化燃料消耗策略，可以有效降低能源消耗和排放，减少对环境的影响。此外，深度学习预测模型的应用还可以帮助火电厂实现能源利用的精细化管理。通过实时监测和分析燃料消耗数据，能够及时发现能源利用中的问题和瓶颈，并采取相应的优化措施[5]。这不仅有助于提高能源利用效率，还可以为火电厂的节能减排和可持续发展提供有力支持。综上所述，深度学习预测模型在火电厂能源调度与优化中的应用具有显著的优势和广阔的前景。

（三）节能减排政策制定

在推动能源行业的绿色转型和可持续发展过程中，深度学习预测模型为政府制定节能减排政策提供了重要的数据支持和科学依据。通过利用这一模型，能够深入分析火电厂的燃料消耗趋势和规律，揭示出能源消耗和排放的关键因素及其变化趋势。基于这些预测和分析结果，政府可以更加精准地制定节能减排政策，引导火电厂降低能源消耗和排放。例如，政府可以设定更加合理的能源消耗标准和排放标准，推动火电厂采用更加环保和高效的发电技术和设备。同时，政府还可以通过政策激励和约束机制，鼓励火电厂加大节能减排投入，提高能源利用效率，减少对环境的影响[6]。此外，深度学习预测模型的应用还可以帮助政府监测和评估节能减排政策的效果，及时发现政策执行中的问题和不足，并采取相应的调整和优化措施。这有助于确保节能减排政策的针对性和有效性，推动火电厂实现可持续发展。

三、火电厂燃料消耗的能效提升路径

（一）设备升级与改造

在火电厂的运营过程中，设备能效的提升是减少燃料消耗和排放的关键。对于老旧、低效的设备进行升级和改造，是提高火电厂能效的重要手段。通过引入高效节能的燃烧设备和发电设备，可以显著降低燃料消耗和排放水平。这些新型设备通常采用先进的燃烧技术和材料，能够更充分地利用燃料，提高燃烧效率。同时，它们还具备更高的可靠性和稳定性，能够减少故障停机时间，提高火电厂的发电能力和运营效率。此外，设备升级与改造还可以带来其他方面的效益。例如，新型设备通常具有更低的维护成本和更长的使用寿命，这有助于降低火电厂的运营成本。同时，它们还可以提高火电厂的安全性和环保性能，为火电厂的可持续发展奠定坚实基础。综上所述，设备升级与改造是火电厂提升能效、减少燃料消耗和排放的重要途径[7]。

（二）能源管理系统优化

为了进一步提升火电厂的能效，需要建立完善的能源管理系统。这一系统能够实时监测和控制火电厂的能源消耗，帮助发现能源利用过程中的问题和瓶颈。通过优化能源管理流程，可以更加合理地分配和利用能源资源，避免能源的浪费和损失。例如，可以根据实时的燃料消耗数据和设备运行状态，调整发电计划和燃料供应策略，确保能源的高效利用。同时，还可以利用能源管理系统对火电厂的运营成本进行监控和分析，发现成本超支的原因，并采取相应的控制措施。此外，能源管理系统还可以帮助实现能源数据的可视化展示和智能化分析。通过图表和报告等形式，可以直观地了解火电厂的能源利用情况和能效水平，为后续的能效提升工作提供有力的数据支持。综上所述，能源管理系统优化是提升火电厂能效、降低运营成本的重要途径。

（三）燃料种类与配比优化

在火电厂的运营过程中，燃料种类与配比的优化是降低燃料消耗和排放的重要手段。借助深度学习预测模型的预测结果，可以更加科学地调整燃料种类和配比，以实现能效的最大化和排放的最小化。通过深入分析不同燃料的能效和排放特性，可以选择能效高、排放低的燃料种类，如优质煤炭或清洁燃料。同时，还可以根据火电厂的实际运行情况和预测模型的预测结果，优化燃料配比，确保燃料的充分利用和高效燃烧。此外，燃料种类与配比的优化还可以带来其他方面的效益。例如，选择更环保的燃料种类有助于减少火电厂对环境的污染，提升企业的社会形象[8]。同时，优化燃料配比还可以降低燃料成本，提高火电厂的经济效

益。综上所述，燃料种类与配比优化是火电厂提升能效、降低燃料消耗和排放的有效策略。

四、火电厂燃料消耗的能效提升路径应用

（一）设备升级效果评估

在火电厂燃料消耗的能效提升路径中，设备升级是一个重要的环节。为了确保设备升级的实际效果，需要对升级后的设备进行效果评估。评估工作主要包括监测设备升级后的能耗和排放情况。通过安装专业的监测设备，可以实时获取设备升级后的能耗数据和排放数据。然后，将这些数据与升级前的数据进行对比分析，以评估设备升级对能效提升的贡献。在对比分析过程中，需要关注设备升级后的能耗降低幅度、排放减少量以及能效提升比例等关键指标。同时，还需要考虑设备升级带来的其他效益，如运行稳定性提升、维护成本降低等。

（二）能源管理系统运行效果监测

在火电厂燃料消耗的能效提升过程中，能源管理系统的运行效果至关重要。为了确保系统的有效性，需要实时监测其运行效果，并分析能源利用效率和运营成本的变化情况。通过专业的监测工具和方法，可以实时获取能源管理系统的运行数据，包括能源消耗、排放情况以及运营成本等。然后，将这些数据与历史数据进行对比分析，以评估能源管理系统的实际效果。在监测过程中，需要关注能源利用效率的提升幅度、运营成本的降低情况以及系统的稳定性和可靠性。同时，还需要根据监测结果，不断优化能源管理流程，如调整能源分配策略、优化设备运行参数等，以进一步提高能效[9]。

（三）燃料配比优化效果验证

在火电厂燃料消耗的能效提升路径中，燃料配比优化是一个重要的策略。为了确保优化后的燃料配比能够真正提高能效，需要对其进行效果验证。基于深度学习预测模型的预测结果，可以制定出更加合理的燃料配比方案，并付诸实施。随后，将实时监测燃料消耗、排放以及能效等关键指标，以评估燃料配比优化的实际效果。在验证过程中，需要对比优化前后的数据，分析燃料配比变化对能效提升的贡献。这包括燃料消耗量的减少、排放量的降低以及能效提升的比例等关键指标。同时，还需要考虑优化后的燃料配比是否稳定可靠，是否能够适应火电厂的实际运行需求[10]。

五、结论

本文基于深度学习技术，构建了火电厂燃料消耗的预测模型，并提出了多项能效提升路径。研究结果表明，深度学习预测模型具有较高的准确性，能够实现对火电厂燃料消耗的准确预测。同时，能效提升路径的实施效果显著，能够降低火电厂的能源消耗和排放，提高能源利用效率。未来，将继续深化深度学习在能源消耗预测领域的研究，探索更多能效提升路径，为火电厂的可持续发展贡献力量。

参考文献

[1]陈秀萍．火电企业燃料成本管控研究［J］．今日财富，2024,(11):16-18.

[2]马士全，丁进良．面向可再生能源消纳的火电机组控制结构综合与分析[J/OL].自动化学报，1-15.2024.https://doi.org/10.16383/j.aas.c230210.

[3]王会强，任永坡．火电发电厂燃料区域智能化研究［J］．电气时代，2023,(S2):36-39.

[4]朱春燕．火电厂集控运行节能降耗技术措施分析［C］//中国智慧城市经济专家委员会．2023年智慧城市建设论坛西安分论坛论文集．华能武汉阳逻电厂，2023:2.

[5]周慎学，朱晓瑾．智慧电厂建设中设备特性认知及能效提升关键问题研究［J］．电力与能源，2017,38(06):718-723.

[6]王新雷，周云，徐彤．促进我国火电能效持续提升政策研究［J］．节能技术，2016,34(01):48-51.

[7]郑伟．火电厂提高汽车煤采样机采样代表性的研究［J］．煤炭加工与综合利用，2023,(10):64-66.DOI:10.16200/j.cnki.11-2627/td.2023.10.015.

[8]柯茗籍．新形势下火电厂燃料集中采购管理优化策略研究［J］．中小企业管理与科技，2023,(15):135-137.

[9]王云波．火电厂燃料管理审计重点与方法研究［J］．投资与创业，2023,34(04):86-88.

[10]黄河勇．火电厂燃料智能管控系统研究与应用［J］．大众用电，2023,38(01):57-58.

热电厂热控专业自动化系统的优化策略研究

樊权乐，李振鑫，李建伟

华能兰州热电有限责任公司，甘肃 兰州 730104

摘　　要： 现今随着科技的不断进步和能源需求的持续增长，使得热电厂在能源生产中扮演着越来越重要的角色。同时热控专业自动化系统对于热电厂的安全、稳定、高效运行至关重要。所以本文就热电厂热控专业自动化系统的现状进行研究，先分析了存在的问题并提出了一系列优化策略，其中包括硬件设备升级、软件系统改进、通信网络优化、人员培训与管理以及安全防护强化等方面。希望通过对这些优化策略的实施，能够在实践中提高热电厂热控专业自动化系统的性能和可靠性，以及降低运行成本和提升能源利用效率。

关 键 词： 热电厂；热控专业；自动化系统；优化策略

Research on the optimization strategy of thermal control professional automation system in thermal power plant

Fan Quanle, Li Zhenxin, Li Jianwei

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

Abstract: With the continuous progress of science and technology and the continuous growth of energy demand, thermal power plants are playing an increasingly important role in energy production. At the same time, the professional automation system of thermal control is crucial for the safe, stable and efficient operation of the thermal power plant. Therefore, this paper studies the current situation of the professional automation system of thermal power plant, first analyzes the existing problems and puts forward a series of optimization strategies, including hardware equipment upgrade, software system improvement, communication network optimization, personnel training and management, and security protection strengthening. It is hoped that through the implementation of these optimization strategies, the performance and reliability of thermal control professional automation systems in thermal power plants can be improved in practice, and operating costs and energy efficiency can be improved.

Keywords: thermal power plant; thermal control specialty; automation system; optimization strategy

引言

热电厂作为重要的能源供应设施，其运行效率和安全性直接关系到国民经济的发展和人民生活的稳定。而热控专业自动化系统又是热电厂实现智能化、高效化运行的关键技术支撑。当前随着信息技术的飞速发展和工业自动化水平的不断提高，时代对热电厂热控专业自动化系统的性能和可靠性提出了更高的要求。因此深入研究热电厂热控专业自动化系统的优化策略具有重要的现实意义。

一、热电厂热控专业自动化系统概述

（一）热控专业自动化系统的组成

热电厂热控专业自动化系统主要由传感器、变送器、控制器、执行器、人机界面等部分组成。其中传感器和变送器负责采集现场的各种工艺参数，如温度、压力、流量、液位等，并还需要将其转换为电信号传输给控制器。控制器根据预设的控制算法则负责对这些信号进行处理，然后生成控制指令发送给执行器。而执行器则根据控制指令对现场设备进行调节，以此实现对工艺过程的自动控制。同时人机界面的任务是为操作人员提供一个直观、便捷的操作平台，借此平台可方便他们对系统进行监控和操作[1]。

（二）热控专业自动化系统的功能

数据采集与监测：即实时采集现场的各种工艺参数，并对其进行监测和分析，从而为操作人员提供准确的运行状态信息。

自动控制：根据预设的控制算法对现场设备进行自动调节，以此实现对工艺过程的稳定控制。

报警与保护：当系统出现异常情况时可及时发出报警信号，

作者简介：樊权乐（1997.06-），男，汉族，甘肃省定西市通渭县人，大学本科，助理工程师，研究方向：从事火电厂热控专业一线工作。

并对其采取相应的保护措施，进而确保系统的安全运行。

历史数据存储与查询：对系统运行过程中的数据进行存储，使 c 操作人员进行历史数据查询和分析更加便捷。

二、热电厂热控专业自动化系统的现状分析

（一）硬件设备方面

第一传感器和变送器精度不高，因此其稳定性差，就容易出现故障，从而影响数据采集的准确性和可靠性。

第二控制器性能有限，其处理速度过慢，也就难以满足复杂控制算法的要求，最终将导致系统控制精度不高。

第三执行器动作不灵敏，响应时间太长则容易出现卡涩等故障，此时将会影响系统的调节性能。

（二）软件系统方面

第一控制算法单一，因而在实践中难以适应复杂多变的工艺过程，从而导致系统控制效果不佳。

第二人机界面设计不合理，使用时操作不便捷且信息显示不直观，如此就会影响操作人员的工作效率。

第三软件系统的稳定性和可靠性有待提高，在使用过程中容易出现死机、数据丢失等问题，致使系统无法正常运行。

（三）通信网络方面

第一通信网络结构不合理，其中存在通信瓶颈，因此容易导致数据传输延迟和丢失，此问题将直接影响系统的实时性和可靠性。

第二通信协议不统一，所以不同设备之间的兼容性差，进而增加了系统的维护难度。

第三网络安全防护措施薄弱，也就意味着其容易受到网络攻击 [2]。

（四）人员管理方面

第一热控专业技术人员数量不足，并且其素质参差不齐，所以难以满足系统维护和优化的需要。

第二操作人员培训不到位，其对系统的操作不熟练，所以工作时容易出现误操作，从而影响了系统的安全运行。

第三企业缺乏有效的人员考核和激励机制，所以难以调动人员的工作积极性和创造性。

三、热电厂热控专业自动化系统的优化策略

（一）硬件设备升级

1.传感器和变送器的优化

首先企业要选用高精度、高稳定性的传感器和变送器，以提高数据采集的准确性。例如采用先进的智能传感器，由于其具备自诊断、自校准功能，所以就能够实时监测自身状态并进行调整，从而减少因传感器故障导致的数据误差。

其次企业需定期对传感器和变送器进行校准和维护，以确保其性能始终处于良好状态。对此要建立严格的校准计划，并要求相关人员按照规定的时间间隔对设备进行校准，同时还须加强日常维护，安排操作人员及时清理积尘、检查接线等，延长设备使用寿命。

再次是需要考虑采用冗余设计，即在关键测量点安装多个传感器。如此一来当一个传感器出现故障时，其他传感器依然可以继续提供数据，进而就能提高系统的可靠性。

2.控制器的升级

实践中应尽量选用性能更强大的控制器，如高速处理器、大容量内存的工业控制计算机或可编程逻辑控制器（PLC）。这样一来则可以提高控制器的运算速度和处理能力，今儿满足复杂控制算法的要求，最终实现更精确的控制。而在对控制器进行升级时，相关人员要确保其与现有系统的兼容性，避免因硬件不兼容导致的系统故障问题出现。为达到此目标，其可以在升级前先进行充分的测试和验证，以确保新控制器能够与传感器、执行器等其他设备正常通信和协同工作。

3.执行器的优化

当相关人员选用了动作灵敏、响应速度快的执行器，则能够有效地提高系统的调节性能。例如在采用了电动执行机构或气动执行机构时，其具有高精度、高可靠性的特点，因此能够快速准确地执行控制指令。

结合时代特点相关人员还可考虑采用智能执行器，因为其具备了远程监控、故障诊断等功能，所以能够实时向操作人员反馈执行器的状态信息，如此就更便于操作人员及时发现和处理问题。

（二）软件系统改进

1.控制算法优化

深入研究热电厂的工艺过程之后，相关人员可结合先进的控制理论和技术，来优化现有的控制算法。并且对控制算法进行实时优化和调整时，应根据系统的实际运行情况不断改进控制策略。其中可以通过在线监测和数据分析，确保及时发现控制算法中存在的问题，并对其进行针对性的优化。

2.人机界面设计优化

设计简洁、直观、易用的人机界面，更方便操作人员进行监控和操作。基于此可采用图形化界面，即将复杂的工艺参数和控制状态以直观的图表、曲线等形式展示出来，使得操作人员能够快速了解系统的运行情况。同时实现人机界面的远程访问功能，就能够方便管理人员和技术人员在不同地点对系统进行监控和管理。对此相关人员可以通过网络将人机界面发布到互联网上，然后授权用户可通过浏览器远程访问系统，进而实时了解系统的运行情况，并进行必要的操作和管理。

3.软件系统的稳定性和可靠性提升

实践中相关人员可采用自动化测试工具，来提高测试效率和覆盖度，并确保自己可以及时发现和修复软件中的漏洞和缺陷。另外其还应对软件系统进行定期维护和升级，及时更新软件版本以修复已知问题，进而提高系统的稳定性和可靠性。

（三）通信网络优化

1.网络结构优化

通过分析现有通信网络的结构和性能，相关人员可以找出存在的问题和瓶颈。如检查网络的拓扑结构是否合理、网络带宽是

否满足需求、网络延迟是否过高等等。接着再采用先进的网络技术和设备，来优化通信网络结构。如采用分布式网络架构将网络负载分散到多个节点上，预习来提高网络的可靠性和稳定性。

2.通信协议统一

对现有通信协议进行梳理和分析，相关人员可找出不同设备之间通信协议不统一的问题。在此基础上再制定统一的通信协议标准，其中应要求所有设备都采用相同的通信协议进行通信。此时就可以选择国际通用的通信协议，如 Modbus、Profibus 等，或者也可以根据实际情况制定企业内部的通信协议标准。

3.网络安全防护加强

（1）建立完善的网络安全防护体系，其中应包括防火墙、入侵检测、数据加密等措施。在网络边界设置防火墙目的在于阻止非法访问和攻击；而安装入侵检测系统以确保实时监测网络流量，从而帮助相关人员及时发现和阻止网络攻击；对重要数据进行加密传输则是为了防止数据泄露。

（2）加强对网络设备和服务器的安全管理，应在实践中设置严格的用户权限和访问控制策略，并且需定期对设备进行安全漏洞扫描和修复，进而确保设备的安全性。

（3）对操作人员进行网络安全培训，以此提高他们的安全意识和防范能力。其中最关键的是教育操作人员不要随意下载和安装未知来源的软件，同时也不要泄露系统的用户名和密码等重要信息[3]。

（四）人员培训与管理

1.技术人员培训

实践中相关企业要制定全面的技术人员培训计划，当中应包括热控专业知识、自动化系统操作和维护、新技术应用等方面的培训内容。为此要定期组织培训课程和技术交流活动，并为员工邀请专家进行授课和指导，进而提高技术人员的业务水平。另外还应鼓励技术人员参加外部培训和认证考试，促使其获取更多相关的专业证书和资质。例如参加 PLC 编程培训、工业网络技术培训等，均能够提高技术人员的专业技能和竞争力。

2.操作人员培训

针对操作人员的工作特点和需求，要为妻制定专门的操作培训计划。通常培训内容有系统的操作流程、常见故障处理、安全注意事项等多个方面。而培训者可通过现场演示、模拟操作等方式，来让操作人员熟悉系统的操作方法，从而提高他们的操作技能。

（五）安全防护强化

一方面应关注物理安全防护，即对热电厂热控专业自动化系统的设备和机房进行物理安全防护，以确保设备的安全运行。对此企业可设置门禁系统、监控摄像头等，来防止未经授权的人员进入机房，同时还可以对设备进行固定和防护，以防止设备被盗或损坏[4]。

另一方面则是需要建立应急响应机制，即针对可能出现的安全事件和故障，制定与其相应的应急处理措施。一般应急预案应包括事件报告、应急响应、故障排除、系统恢复等环节，才能够确保在发生安全事件时能够迅速、有效地进行处理。而建立此机制后还应定期组织应急演练，以检验应急预案的有效性和可行性。此做法的目的是通过模拟安全事件和故障，让相关人员能够熟悉应急处理流程，进而提高其应急响应能力和协同作战能力[5]。另外还应在实践中建立应急响应团队，在其中需要明确团队成员的职责和分工，以确保在发生安全事件时能够迅速组织力量进行处理。

四、结语

热电厂热控专业自动化系统的优化是一个复杂而系统的工程，其需要从硬件设备、软件系统、通信网络、人员管理和安全防护等多个方面入手。只有通过对这些方面的综合优化，相关人员才可以提高系统的性能和可靠性，以及降低运行成本与提升能源利用效率。但同时在实施优化策略的过程中，相关人员依然需要充分考虑系统的实际情况和需求，并制定出科学合理的优化方案，且加强对优化效果的评估和反馈，以此为依据不断地改进和完善优化策略，以确保系统始终保持良好的运行状态。

未来随着科技的不断进步和能源需求的持续增长，相信热电厂热控专业自动化系统将面临更多的挑战和机遇。所以相关人员依然需要不断探索和创新，在实践中引入先进的技术和理念，从而进一步提高系统的智能化、高效化水平。

参考文献

[1] 刘乾乾. 热电厂热控自动化保护装置的维护分析 [J/OL].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2023(10)[2023-01-01].

[2]王帅. 电厂热控自动化系统运行稳定性的提升对策［J］. 数码设计（上），2021,10(4):120.

[3]鞠晨语. 电力系统自动化技术安全管理策略研究［J］. 花炮科技与市场，2019,25(04):96-96.

[4]王继帅. 电厂热控自动化系统运行稳定性的提升对策［J］. 通信电源技术，2020,37(06):150-151.

[5]李俊. 发电厂热控自动化系统设计与优化分析［J］. 仪器仪表用户，2024,31(03):92-94.

智能电网技术在电力系统中的应用

王浩然，党佳乐，管少璞，李成辉
陕西公众电气股份有限公司，陕西 西安 710000

摘　　要： 本研究深入剖析智能电网技术在电力系统需求预测与优化控制方面的应用。通过对比传统电力技术，详细阐述智能电网如何凭借大数据、人工智能等前沿技术，达成精准电力需求预测、高效生产分配优化以及实时系统监测控制，揭示其在提升电力系统效率、增强韧性与推动能源可持续发展上的卓越效能与广阔前景，为相关技术研究与实践提供深度理论依据与实践参考。

关 键 词： 智能电网技术；电力需求预测；优化控制

Application of smart grid technology in power systems

Wang Haoran, Dang Jiale, Guan Shaopu, Li Chenghui
Shaanxi Public Electric Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract: This study conducts an in-depth analysis of the application of smart grid technology in power system demand prediction and optimal control. By comparing it with traditional power technologies, it elaborates in detail on how smart grid technology achieves precise power demand prediction, efficient optimization of production and distribution, and real-time system monitoring and control by virtue of cutting-edge technologies such as big data and artificial intelligence. It reveals its outstanding effectiveness and broad prospects in improving the efficiency of power systems, enhancing resilience, and promoting the sustainable development of energy, providing in-depth theoretical basis and practical reference for relevant technological research and practice.

Keywords: smart grid technology; power demand prediction; optimal control

在全球能源格局深度变革、能源转型加速的大背景下，电力系统面临着需求多样化、供应稳定性挑战以及可持续发展的紧迫任务。智能电网技术应运而生，作为现代电力系统的核心创新驱动力，它融合了多种先进技术，构建起一个高度智能化、灵活且高效的电力网络架构。本研究聚焦于其在电力需求预测与优化控制两大关键领域的深度应用，旨在系统地揭示其技术原理、应用模式以及所带来的变革性影响，为电力工程技术领域的专业人士、研究人员以及相关专业学生提供深入且全面的技术解析与应用指导。

一、智能电网技术在电力需求预测中的应用

（一）传统电力技术与智能电网技术的对比

传统电力技术在电力需求预测时，多局限于人工对历史用电数据的简单分析与基于经验的主观判断。这种方式受限于人力分析能力，难以处理大规模、多维度的数据，导致预测精度低下，且在面对突发用电变化或新的用电趋势时，响应极为迟缓，无法及时为电力系统的规划与调度提供精准有效的信息[1]。

与之形成鲜明对比的是智能电网技术，其借助大数据技术对海量电力数据进行高效存储与深度挖掘，云计算提供强大的计算资源以支持复杂的数据处理任务，人工智能算法则从挖掘出的数据规律中学习并构建精准预测模型。例如，通过对多年的历史电力消费数据、细致到区域与时段的天气预报数据（气温、湿度、风力等对用电设备如空调、电暖器等影响显著）以及当地经济活动数据（工业生产规模、商业营业时间与活跃度等）的综合分析，智能电网技术能够精准捕捉电力需求与各类影响因素之间的复杂非线性关系，从而准确预测未来电力需求的动态变化趋势，为电力系统的科学规划、合理调度以及稳定运行提供高可信度的决策依据，如表1所示。

表 1：传统与智能电网技术电力需求预测结果对比

预测技术	预测误差均值	预测响应时间（平均）	对特殊事件预测准确性
传统电力技术	±15%	24 小时以上	低
智能电网技术	±3%	1 小时以内	高

（二）基于大数据与 AI 的电力需求预测模型

本研究构建的基于大数据与人工智能的电力需求预测模型，其数据采集来源广泛且多元。除上述提及的历史电力消费、天气预报和经济活动数据外，还纳入了社会活动数据（如大型体育赛

作者简介：王浩然，（1994.03-），男，陕西省西安市人，本科，初级工程师，研究方向：电力相关。

事、节假日庆典等活动的时间、规模与地点信息，这些活动往往会引起周边区域用电需求的显著波动）以及电力市场价格波动数据（价格变化会影响工业与商业用户的用电策略，进而影响电力需求）。

在模型构建方面，采用深度学习中的长短期记忆网络（LSTM）算法。LSTM 算法在处理时间序列数据如电力需求数据时具有独特优势，它能够有效学习数据中的长期依赖关系，避免传统神经网络在处理长序列数据时的梯度消失问题。通过对大量历史数据的训练，模型能够自动提取不同影响因素与电力需求之间的复杂特征模式，并依据这些模式对未来电力需求进行精准预测，如表2所示。

表 2：基于大数据与 AI 电力需求预测模型训练验证数据示例

数据类型	数据示例	数据用途
历史电力消费数据	2018 – 2023 年某城市每月用电量数据	模型训练与验证基础数据
天气预报数据	2018 – 2023 年对应月份的平均气温、最高气温、降水量等	影响因素数据
经济活动数据	当地工业增加值、商业销售额月度数据	影响因素数据

模型训练过程中，将数据按照一定比例划分为训练集、验证集和测试集。通过反复调整模型参数，优化算法结构，使模型在训练集上的损失函数值不断降低，同时在验证集上保持良好的泛化能力[2]。经过多轮训练与验证，模型在测试集上取得了显著优于传统预测方法的性能表现，预测精度较传统线性回归预测方法提高了约 40%，且能够在短时间内对新的用电数据做出响应并更新预测结果，有效保障了电力系统的稳定运行。

二、智能电网技术在电力生产与分配优化中的应用

（一）负荷预测与资源调度的协同优化

智能电网技术通过先进的传感器网络与高速通信技术，实现对电力负荷的高频率、高精度实时监测。例如，在城市电网中，智能电表每隔数分钟甚至更短时间就将用户的用电数据传输至电网控制中心，这些数据涵盖了不同区域、不同类型用户（居民、工业、商业等）的实时用电功率、电量等信息。

基于这些海量实时负荷数据，结合发电资源的详细信息（包括各类发电站的发电容量、发电成本、能源类型、地理位置等），智能电网系统运用优化算法进行负荷预测与资源调度的协同优化计算[3]。例如，采用动态规划算法，以电力供应成本最低、能源利用效率最高以及系统稳定性最强为目标函数，在满足电力负荷需求的约束条件下，对不同发电资源（火电、水电、风电、光伏等）的发电计划进行优化安排。

在实际运行中，当预测到某区域在未来数小时内将迎来用电高峰时，系统会提前调度距离该区域较近且发电成本较低的发电资源增加发电出力，同时协调其他区域的电力支援或储能系统放电，确保电力供应的平稳过渡[4]。这种协同优化机制能够有效避免传统电力系统中因负荷预测不准确或资源调度不合理导致的电力供应紧张或过剩现象，显著提高电力系统的经济性与稳定性。

（二）分布式能源接入与微电网优化运行

随着太阳能、风能等分布式能源在电力系统中的占比日益增加，智能电网技术为其高效接入与稳定运行提供了关键支撑。在分布式能源接入方面，智能电网通过智能逆变器、智能电表等设备实现对分布式能源发电设备的实时监测与精准控制[5]。例如，对于分布式光伏电站，智能逆变器能够根据电网的电压、频率等参数以及本地光照强度、温度等环境条件，自动调整光伏电池的输出功率，使其稳定、高效地并入电网。

在微电网运行层面，智能电网技术构建了一套完善的能量管理系统（EMS）。EMS 实时采集微电网内分布式能源的发电信息、储能系统的充放电状态、本地负荷的用电需求等数据，并运用智能优化算法进行运行策略的制定与调整。例如，采用模型预测控制（MPC）算法，根据对未来一段时间内（如未来 24 小时）的光照、风力预测以及负荷变化预测，提前规划分布式能源的发电计划、储能系统的充放电计划，以实现微电网内能源的自给自足与高效利用。当微电网与主电网之间的联络线出现故障或功率传输受限等情况时，EMS 能够迅速切换微电网的运行模式，使其进入孤岛运行状态，并调整内部能源分配策略，保障微电网内重要负荷的持续供电，提高微电网的供电可靠性与韧性。

三、智能电网技术在电力系统监测与控制中的应用

（一）远程监测与实时数据采集技术

智能电网通过物联网技术将电力系统中的各类设备（发电设备、输电线路、变电设备、配电设备以及用电终端等）连接成一个庞大的网络。在发电端，智能传感器安装在发电机、汽轮机等设备上，实时采集设备的运行温度、转速、振动幅度、油压等关键参数[6]。在输电线路上，通过分布式光纤传感器、无线传感器等设备，监测线路的电流、电压、相位、线路损耗以及线路周围的环境参数（如温度、湿度、风速、覆冰厚度等）。在配电端，智能电表不仅记录用户的用电数据，还能监测配电网的电压质量、功率因数等信息。

这些海量的实时监测数据通过高速通信网络（如 5G 通信网络、电力专用光纤网络等）传输至电网控制中心的大数据平台。大数据平台对数据进行实时存储、清洗、分析与可视化展示，为电力系统运行人员提供全面、直观的系统运行状态视图[7]。例如，通过对输电线路温度与电流数据的关联分析，能够及时发现线路的过载发热隐患。对变电设备的油色谱分析数据进行实时监测，可提前预警设备内部的绝缘故障。这种远程监测与实时数据采集技术极大地提高了电力系统的安全性与可靠性，将潜在故障的发现与处理时间从传统的数小时甚至数天缩短至数分钟以内，有效降低了故障发生概率与故障损失。

（二）基于 AI 的预测性维护与故障检测技术

本研究提出的基于人工智能的预测性维护与故障检测技术，以机器学习中的支持向量机（SVM）算法与深度神经网络（DNN）算法为核心构建预测模型[8]。首先，收集电力设备多年的历史运行数据（包括正常运行数据与故障发生前的异常数据）以

及详细的故障记录（故障类型、故障发生时间、故障位置、故障原因等），对这些数据进行预处理，提取关键特征（如设备运行参数的变化率、波动幅度、数据的频谱特征等）。

将处理后的数据分为训练集与测试集，利用训练集分别训练 SVM 与 DNN 模型。SVM 模型在处理小样本、高维数据时具有良好的分类性能，能够有效区分设备的正常运行状态与不同类型的故障状态 [9]。DNN 模型则凭借其强大的自动特征学习能力，深入挖掘数据中的隐藏特征与故障模式之间的复杂关系。在模型训练过程中，通过交叉验证等技术手段调整模型的超参数，提高模型的准确性与泛化能力。

在实际应用中，将实时采集的电力设备运行数据输入训练好的模型中，模型能够实时判断设备的运行状态，并预测设备是否存在故障风险以及可能发生的故障类型 [10]。例如，对于一台大型变压器，通过对其油温、绕组温度、油中溶解气体含量等实时数据的分析，模型能够提前数天甚至数周预测到可能发生的绝缘故障，并发出预警信息，同时给出故障可能发生的位置与原因分析 [10]。这为电力运维人员提供了充足的时间进行设备维护与故障排除准备，大幅提高了故障处理效率，降低了设备维修成本与停电损失。

四、结语

智能电网技术在电力系统需求预测与优化控制中的深度应用成效显著。在需求预测方面，大数据与人工智能技术的结合大幅提高了预测精度与时效性。生产与分配优化中，负荷预测与资源调度协同及分布式能源接入等策略有效提升了经济性与稳定性。监测与控制环节，远程监测与基于 AI 的维护检测技术增强了系统安全性与可靠性。本研究为电力系统的优化运行提供了有力依据，在学术上丰富了智能电网技术应用的理论体系，于教育层面为相关专业教学提供了实践案例，有力推动了电力行业的技术进步与能源的可持续发展。

参考文献

[1]杨小兵. 智能电网技术在电力系统中的应用研究［J］. 信息系统工程，2023,(12):24-27.

[2]包萌，王新智. 智能电网技术在电力系统规划中的应用［J］. 集成电路应用，2023,40(12):192-193.

[3]马海鹏. 智能电网在电力系统中的应用分析［J］. 光源与照明，2022,(07):237-239.

[4]范凯迪. 电力调度自动化中智能电网技术的应用［J］. 新型工业化，2022,12(03):202-204+211.

[5]王煜昆. 智能电网环境下电力系统保护新技术的应用分析［J］. 光源与照明，2022,(02):201-203.

[6]朱胜强. 继电保护整定技术在智能电网供配电系统中的应用［J］. 电子世界，2021,(15):59-60.

[7]雷鸣，崔晓丹，杨天舒，等. 区块链技术在智能电网稳定控制系统中的应用［J］. 江苏大学学报(自然科学版),2021,42(05):569-574.

[8]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.

[9]苏文豪，孙天琦，薛璐璐. 初探智能电网技术在电网监控系统中的应用［J］. 电子元器件与信息技术，2021,5(02):119-121.

[10]李学武，李福胜. 智能电网技术在未来船舶电力系统中的应用［J］. 舰船科学技术，2016,38(12):76-78.

基于 MATLAB 的电梯系统 S 曲线优化研究

李超，李自成，张倬精，周天浩，温修林
成都理工大学工程技术学院，四川 乐山 614000

摘　　要： 本文研究了电梯系统的 S 曲线优化问题，提出了一种基于 MATLAB 的优化算法。通过对传统电梯控制策略的分析，设计了响应时间和乘客舒适度的综合优化方案。在模拟仿真中，使用 MATLAB 工具对电梯运行进行了建模，通过 S 曲线轨迹控制电梯的加减速过程，从而降低机械冲击，提高乘客体验。最后，得到了优化结果，并进行对比分析，验证了该方案的有效性。

关 键 词： 电梯系统；S 曲线优化；MATLAB；控制策略；乘客舒适度

Study on the S-curve optimization of the elevator system based on MATLAB

Li Chao, Li Zicheng, Zhang Zhuojing, Zhou Tianhao, Wen Xiulin
School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 614000

Abstract: In this paper, we study the S curve optimization of the elevator system and propose an optimization algorithm based on MATLAB. Through the analysis of the traditional elevator control strategy, a comprehensive optimization scheme of response time and passenger comfort is designed. In the simulation, the elevator operation is modeled using the MATLAB tool, and the acceleration and deceleration process of the elevator is controlled through the S-curve trajectory to reduce the mechanical impact and improve the passenger experience. Finally, the optimization results were obtained and a comparative analysis was performed to verify the effectiveness of the scheme.

Keywords: elevator system; S-curve optimization; MATLAB; control strategy; passenger comfort

引言

随着城市建筑的高度不断增加，电梯作为主要的垂直交通工具，其性能直接影响到人们的出行效率与舒适度。传统电梯控制方法多采用简单的加减速控制策略，容易导致较大的机械冲击与乘坐不适。为了解决这一问题，本文提出了一种基于 S 曲线的优化方法，以提高电梯的运行平稳性和乘客舒适度 [1]。

一、电梯系统的基本原理

（一）电梯的结构和工作原理

电梯的基本结构包括变频器、制动器、缓冲器、安全钳、限速器、引入装置、自动开关、变压器等部件。

电梯的工作原理基于曳引系统。电梯的曳引绳一端连接轿厢，另一端连接对重，缠绕在曳引轮和导向轮上 [2]。曳引电动机通过减速器变速后带动曳引轮转动，依靠曳引绳与曳引轮摩擦产生的牵引力，实现轿厢和对重的升降运动，从而达到运输的目的。

（二）电梯的控制系统

电引系统：传递及输出动力，使电梯运作。

导向系统：对轿厢及对重的运行自由度进行控制。

电力拖动系统：由曳引电机、供电系统、速度反馈装置、调速装置等组成，负责对电梯进行速度控制。

轿厢：用于运送物品及乘客。

门系统：负责开启和关闭轿厢门和厅门，确保乘客安全。

重量平衡系统：通过补偿链或补偿绳，保持轿厢的平衡，减少能耗。

二、S 曲线优化理论

（一）S 曲线的定义与特点

S 曲线是一种在控制系统中广泛应用的平滑过渡曲线，由于其逐渐加速和减速的特点，可以有效减少机械冲击和提升乘客的舒适感 [3]。

（二）S 曲线在电梯控制中的应用

在电梯加速和减速过程中，使用 S 曲线可以在保障速度变化平稳的同时，减少对电梯部件的磨损。

曲线在电梯控制系统中有多种重要应用，主要体现在以下几

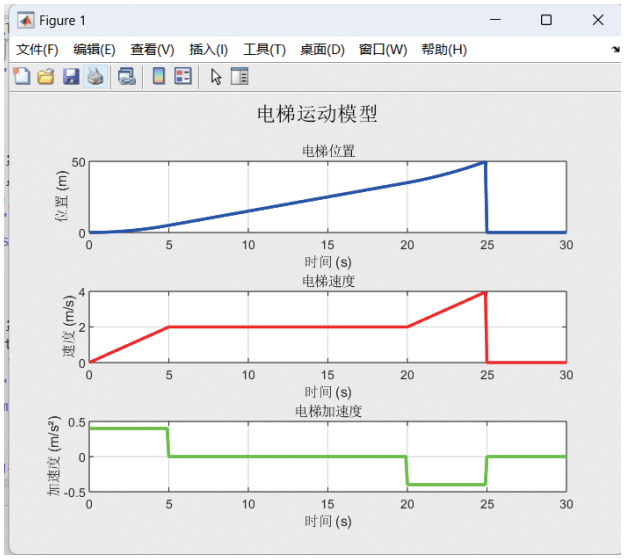
作者简介：李超（2002.12-），男，四川巴中人，单位：成都理工大学工程技术学院，本科在读，研究方向：电气工程及其自动化，邮箱：15520321204@163.com。

个方面：乘客流量预测，速度控制，调度算法，能耗管理，故障诊断。

三、基于 MATLAB 的电梯模型

（一）电梯运动模型

使用 MATLAB 建立电梯运动方程，包括加速度、速度和位置的变化。可通过牛顿第二定律进行建模。如图 4-1



> 图 4-1 电梯运动模型

（二）S 曲线参数的选择

加速时间（t_acc）：电梯从静止状态加速到额定速度所需的时间。通常选择的范围为 1-3 秒，具体时间根据电梯的额定速度和载荷来调整。

减速时间（t_dec）：电梯从额定速度减速到静止所需的时间，通常与加速时间相同。为了确保乘客舒适，减速也应渐进。

最大加速度（a_max）：单位为 g（重力加速度，约为 9.81 m/s²）。一般选择 0.3g 到 0.5g 的范围，具体数值依据电梯的设计和使用环境来确定。

最大减速度：减速度参数通常与加速度相似，但也可以略大于加速度，以实现更快的停止。很多情况下，建议不要超过 0.7g。

平稳段持续时间（t_flat）：达到额定速度后，电梯保持平稳行驶的时间。通常这个时间比较短，1-2 秒足够。

S 曲线的弯曲程度：影响加速和减速的平滑度。如果曲线过于陡峭，可能造成乘客的不适；如果过于平缓则可能影响电梯的效率 [4]。

四、优化算法设计

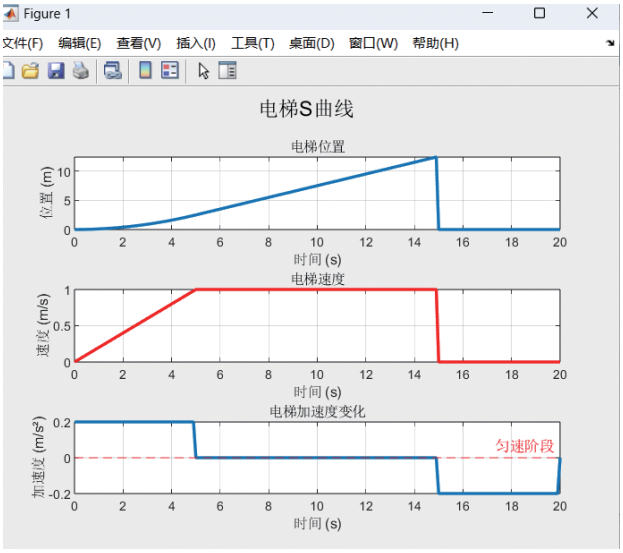
（一）优化目标及约束

目标是最小化电梯的总运行时间和乘客的等待时间，约束条件包括电梯的最大速度和加速度。

（二）算法实现

基于 MATLAB 的电梯模型的算法实现

1.S 曲线生成如图 5-2



> 图 5-2 电梯 S 曲线

2. 电梯调度算法

（1）呼叫分配算法

当有多个楼层的呼叫请求时，需要合理分配电梯。一种常见的算法是基于距离原则。在 MATLAB 中，可以通过计算每个电梯当前位置与呼叫楼层的距离来确定响应的电梯。

（2）路径规划算法

对于电梯的运行路径规划，要考虑效率和舒适性。在 MATLAB 中，可以使用图论算法，如 Dijkstra 算法的变体。将楼层看作节点，电梯的运行方向看作边的权重 [5]。当电梯有多个呼叫任务时，通过 Dijkstra 算法寻找最短路径。

```
matlab
function [path] = elevatorPathPlanning(floor_calls, current_floor)
graph = constructGraph(floor_calls);
[~,path] = dijkstra(graph, current_floor);
end
```

3. 算法优化

（1）多目标优化

在电梯模型算法中，存在多个优化目标，如乘客等待时间最短、能耗最低、舒适性最佳等。在 MATLAB 中，可以使用多目标优化算法，如 NSGA - II。通过定义目标函数，例如等待时间函数、能耗函数和舒适性评价函数，利用 NSGA - II 算法寻找 Pareto 最优解。

```
function [pareto_front] = elevatorOptimization()
pop_size = 50;
num_generations = 100;
population = initializePopulation(pop_size);
for i = 1:num_generations
fitness_values = evaluateFitness(population);
new_population = selection(population, fitness_values);
new_population = crossover(new_population);
new_population = mutation(new_population);
```

```
population = new_population;
end
pareto_front = findParetoFront(population);
end
```

五、仿真实验

（一）实验设置

1.仿真实验环境搭建

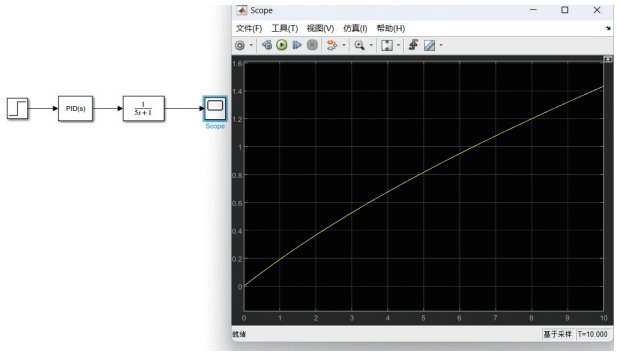
（1）MATLAB 软件平台

在 MATLAB 中，我们可以方便地定义系统参数、编写控制算法和实现数据可视化。其丰富的工具箱，如 Simulink，为我们模拟电梯的动态行为提供了有力支持。

（2）电梯系统模型建立

控制系统模型

控制系统是实现 S 曲线优化的关键。建立包括速度控制器、位置控制器等在内的控制模型[6]。速度控制器采用 PID 控制器（比例 - 积分 - 微分控制器），根据设定的速度值和实际轿厢速度的偏差来调整输出信号，控制曳引机的转速。例如，通过调整 PID 参数，使速度控制的超调量小于 5%，稳态误差趋近于零。



> 图6-1电梯速度 PID 控制

位置控制器则根据目标楼层位置和当前轿厢位置的差值，结合速度控制，实现轿厢的精确停靠。同时，在控制系统中融入 S 曲线生成算法，根据设定的加速度、加加速度等参数生成电梯运行的理想 S 曲线。

2.实验参数设置

（1）S 曲线参数

1）加速度和加加速度

设定不同的加速度值，组合这些参数来生成不同特性的 S 曲线，研究它们对电梯运行性能的影响。

对于加速度为 1m/s²、加加速度为 1m/s³ 的情况，分析在启动和停止阶段轿厢速度和位置的变化情况，观察其过渡是否平滑。

2）速度参数

设定电梯的额定速度，根据不同的额定速度，调整 S 曲线的其他参数，使电梯在达到额定速度过程中的加速和减速过程合理。

（2）负载条件

1）空载情况

在空载条件下，即轿厢内无乘客，模拟电梯的运行。

2）不同负载率情况

分别设置轿厢负载率为 25%、50%、75%和满载（100%）的情况。负载的变化会影响电梯的运行特性，尤其是对曳引机的负载转矩。

3.实验步骤

（1）基础 S 曲线运行实验

1）单参数变化实验

保持其他参数不变，只改变加速度参数，运行仿真模型，记录轿厢的速度、加速度、位置等数据。观察在不同加速度下，电梯从启动到停止的整个运行过程，分析乘客可能感受到的舒适性和运行时间的变化。

对加加速度、额定速度等参数进行单参数变化实验，每次记录相应的数据，为后续的优化分析提供基础。

2）多参数组合实验

选取不同的加速度、加加速度和额定速度组合，运行仿真模型。例如，加速度为 1m/s²、加加速度为 1m/s³、额定速度为 3m/s 的组合，以及加速度为 1.5m/s²、加加速度为 0.5m/s³、额定速度为 4m/s 的组合等。比较不同组合下电梯的整体运行性能，包括舒适性、运行效率和能耗等方面的表现。

（2）S 曲线优化实验

1）优化算法应用

将基于 MATLAB 的 S 曲线优化算法应用到仿真模型中。例如，采用多目标优化算法，以提高舒适性、降低能耗和缩短运行时间为目标，对 S 曲线参数进行优化。

在优化过程中，观察算法对参数的调整情况，以及调整后的 S 曲线形状变化。通过 MATLAB 的可视化功能，直观地展示优化前后 S 曲线的对比。

2）优化效果评估

在相同的负载条件和运行场景下，比较优化前后电梯的运行数据。评估舒适性指标，如乘客所受加速度的最大值和变化率，通过计算加速度的均方根值来量化舒适性的改善程度[7]。

分析运行效率指标，包括平均运行时间和最长等待时间。对于能耗指标，根据曳引机的功率消耗情况，计算在一定运行次数下的总能耗变化。

（二）结果分析

1.基础 S 曲线实验结果分析

（1）单参数变化对运行性能的影响

从加速度单参数变化实验结果来看，当加速度增大时，电梯的运行时间明显缩短，但乘客的舒适性会降低，表现为轿厢内的振动感增强，最大加速度值超过一定限度可能导致乘客站立不稳。

加加速度的变化对舒适性的影响更为敏感，较小的加加速度能使电梯启动和停止过程更加平滑，即使加速度较大，合理的加加速度也能在一定程度上缓解乘客的不适感[8]。

额定速度的改变主要影响电梯的运行效率，较高的额定速度在长距离运行中能显著减少运行时间，但在加速和减速阶段需要更合理的 S 曲线参数来保证舒适性。

（2）多参数组合对运行性能的影响

在多参数组合实验中，发现不同参数之间存在相互作用。如加加速度不合理，会导致电梯在启动和停止阶段出现明显的冲击。而合适的参数组合可以在保证一定舒适性的前提下，提高运行效率。

2. S 曲线优化实验结果分析

（1）优化算法对参数的调整效果

通过优化算法，S 曲线参数得到了合理调整。例如，优化后的加速度和加加速度值在不同负载条件下都能更好地平衡舒适性和运行效率 [9]。在负载变化时，优化算法能够自适应地调整参数，使电梯的运行性能更加稳定。

从可视化的 S 曲线对比可以看出，优化后的曲线在启动和停止阶段更加平滑，加速和减速过程的过渡更加自然，减少了不必要的速度波动。

（2）优化对运行性能的提升效果

在舒适性方面，优化后的电梯运行中乘客所受加速度的最大值和变化率都明显降低，加速度均方根值减小，乘客在轿厢内几乎感觉不到明显的振动和冲击，大大提高了乘坐体验。

运行效率方面，虽然在某些情况下优化后的单次运行时间可能略有增加，但从整体交通流量来看，平均运行时间和最长等待时间都有所减少，提高了电梯系统的输送能力 [10]。

能耗方面，通过优化 S 曲线参数，曳引机在加速和减速过程中的功率消耗更加合理，尤其是在频繁启停的情况下，总能耗有一定程度的降低，实现了节能效果。

六、结论与展望

本文提出的基于 MATLAB的电梯系统 S曲线优化方法有效改善了电梯的运动平稳性与乘客的舒适感。未来的工作可以扩展到多电梯合作调度优化以及对复杂建筑物的适应性研究。

参考文献

[1]王郝. 电梯控制系统的故障与维修技术分析［J］. 集成电路应用，2022,39(01):238-239

[2]刘宏达. 智能技术在电梯控制系统中的运用研究［J］. 现代工业经济和信息化，2021,11(04):121-122

[3]郭亮，易荣伟. PLC技术在电梯控制系统的应用［J］. 数字技术与应用，2021,39(04):19-21.

[4]张军. 基于可编程控制器的电梯控制系统的设计研究［J］. 中国设备工程，2020,(01):99-100.

[5]周振钢，张桂香. 电梯控制系统中变频器改造的探索与实践［J］. 郑州铁路职业技术学院学报，2019,31(04):1-4+7

[6]吴晓雪，何南，谷军. 基于组态软件的电梯控制与仿真［J］. 计算机测量与控制，2019,27(11):79-81. 11-4762

[7]张松. 电梯控制系统软件的设计与实现［D］. 西安电子科技大学，20192019.002953.

[8]景群. PLC技术在电梯控制系统中的应用与研究［J］. 中小企业管理与科技，2022,(03):187-189.

[9]李欣阳，张博文，王慧敏. 基于单片机的智能电梯控制系统设计［J］. 电脑知识与技术，2021,17(32):126-128.2021.3239.

[10]李根. 基于 PLC的电梯群控系统设计与研究［D］. 广西：广西大学，2020.

智能监控技术在10千伏箱式变电站中的应用分析

王安琪

国网长春市九台区供电公司，吉林 长春 130000

摘　　要： 在电力系统快速发展的背景下，10千伏箱式变电站这一核心设施的作用不容小觑，其运行的高效性与可靠性直接关联着电网的平稳运作。信息技术与电力系统融合而成的智能监控技术，为变电站效率与管理水平的双重提升开辟了新路径。本研究主要探讨了这一技术在10千伏箱式变电站的实践路径、成效评估以及所遭遇的挑战与应对之策。借助精良硬件的筛选与组合、软件平台的构筑及功能规划，该技术显著提升了变电站的运作效率，同时大幅削减了运维的经济与风险负担。

关 键 词： 智能监控；10千伏箱式变电站；应用探究

Application analysis of smart monitoring technology in 10kV box-type substation

Wang Anqi

State Grid Jiutai District Power Supply Company, Changchun , Changchun, Jilin 130000

Abstract: In the context of the rapid development of the power system, the role of the core facility of the 10kV box-type substation cannot be underestimated, and the efficiency and reliability of its operation are directly related to the stable operation of the power grid. The smart monitoring technology, which is a fusion of information technology and power system, has opened up a new path for the dual improvement of substation efficiency and management level. This study mainly explores the practical path, effectiveness evaluation, and challenges encountered and countermeasures of this technology in 10kV box-type substations. With the help of screening and combination of superior hardware, construction of software platform and functional planning, this technology significantly improves the operational efficiency of the substation, while significantly reducing the economic and risk burden of operation and maintenance.

Keywords: smart monitoring; 10kV box-type substation; application exploration

引言

随着技术的迭代，工业自动化与信息化水平显著提升，这推动了智能监控技术在电力系统中的广泛渗透。在电力架构中，10千伏箱式变电站扮演着至关重要的角色，其稳定性与可靠性直接影响到整个电网的安全及经济性能。面对现代电力系统日益增长的需求，传统的变电站监控手段已显不足，此时，智能监控技术应声而出，其核心宗旨在于借助尖端信息与自动化技术，显著提升变电站的运营效率与管理层次。

一、10千伏箱式变电站的重要性

箱式变电站，额定电压10千伏，是一种多组件集合式电力系统。该设备巧妙地将变压器以及高低压配电设施融于单一或数个箱体之中，展现出其设计上的紧凑性、装配上的便捷性以及移动上的灵活性。其在电力系统中的重要性体现在以下方面：它增强了供电的稳固性，得益于全封闭的结构设计，有效抵御了环境因素的侵扰，降低了故障率[1]。该变电站显著节省了空间资源，集成化设计让其占地极小，非常适合土地稀缺的城市地区。环保节能也是其一大特点，采用低耗变压器与先进技术，助力减少能源消耗。此外，其模块化设计促成了快速部署与维护，简化了结构和建设周期。它的环境适应性极强，无论是极端气候还是复杂地形，均有其用武之地，展现出广泛的应用潜力。

二、智能监控技术的发展现状

智能监控技术依托于当代信息技术、通讯手段及计算机科学，实现对电力系统运作的即时监管。观察其发展现状发现，首

先，系统的高度集成化，技术演进使得监控体系融合了数据采集、处理、分析与控制等多项功能，全方位监控电力系统状态。其次，实时性显著增强，依托高速数据网络，系统实时获取设备数据，保障了电力系统的稳定性。自动化水平的提升也成为亮点，减少了人工介入，效率与精准度大幅提高[2]。此外，其预测与预警功能凸显，大数据与人工智能助力下，能预见性分析设备状态，提前发现风险。安全性也得到增强，多级安全措施保障数据与系统安全。最后，与物联网技术的融合，通过传感器等实现了全面感知与智能控制。总体来看，智能监控技术已成为电力系统安全高效运行的关键技术支撑。

三、智能监控技术概述

（一）智能监控技术的基本概念

1.定义与特点

智能监控技术依托于计算机视觉与图像处理、模式识别及人工智能等多学科技术，实现对监控场景中人物与行为的即时分析与处理。该技术具备自主识别异常画面的能力并能迅速采取反应，显著提升了监控工作的效率与精确度[3]。其核心特征涵盖自动化操作、智能处理、实时监控、高准确度以及良好的扩展性。

2.技术架构与原理

在构建智能监控系统时，其核心框架普遍涵盖了数据捕获模块、数据处理单元、智能分析与决策环节以及应用实现层面。在这一架构中，数据捕获模块主要承担起捕获视频及图像信息的任务；随后，数据处理单元对所捕获的原始数据进行初步的清洗和优化，涉及去除噪声和图像增强等处理；智能分析与决策环节采用先进的算法对经处理的数据进行深入分析，实现对场景内容的辨识与解读[4]。最终，应用实现层面将分析成果转换成具体操作，例如触发警报、日志记录和数据汇总等。该技术的核心机理依托于深度学习和机器学习算法，以此训练出的模型能够有效辨识并学习监控场景中的多样模式与行为特征[2]。

（二）智能监控技术在电力行业的应用现状

1.应用范围

在电力领域的关键环节，如变电站、输电线路以及发电厂等地，智能监控技术已广泛部署，其功能在于对电力系统的运作状况实施即时监测。该技术具备自动识别并预警环境突变、非法入侵以及设备故障的能力。同时，该技术在电力设施的巡检工作中扮演着重要角色，借助无人机或机器人携带的摄像设备进行作业，有效提升了巡检工作的效率与安全水平[5]。

2.成功案例与效果分析

一家电力企业通过安装先进的智能监控系统，得以对输电网络实施了不间断的监控作业。该系统具备自动识别功能，能够迅速探测到线路周边的异常现象，包括非法闯入或树木生长过密等问题并迅速将情况反馈给维修人员以便及时处理。得益于此，该企业显著降低了由线路故障引起的停电频次，供电稳定性得到显著增强。在变电站管理上，智能监控技术显著提升了设备故障的侦测与响应速度，大幅减少了运维的经济成本[6]。此外，系统通过深度智能分析，具备了预见设备潜在故障的能力，推动了预防性维护的实践，进而延长了设备的使用周期。

四、智能监控技术在10千伏箱式变电站的应用分析

（一）技术应用的实现方式

1.硬件设备的选择与配置

在10千伏箱式变电站中部署智能监控系统，前提是必须细致筛选并合理搭配多种硬件设施，以保障系统运作的高效率和数据的精确性。在此环节中，传感器以其卓越的精确度成为不可或缺的元件，它们担当着实时捕捉变电站核心参数的重任，包括电压、电流以及温度等关键指标，这些实时信息对于故障的预防以及变电站的持续稳定运作具有不可替代的作用。数据采集单元在监控系统中的作用不可小觑，其肩负着从传感器处汇集数据并执行初步处理任务，如滤波、信号放大以及模拟至数字转换等，以维持数据的一致性和适宜的分析格式。在确保数据传输的稳固与安全方面，通信模块显得尤为重要，它通过不同传输媒介，将预处理数据可靠地传送至中央处理核心[7]。作为系统的中枢神经，中央处理单元承担着对通信模块传入数据的深入分析，借助高级算法，系统能够预见潜在的风险与异常，并智能化地作出响应，如自主调节负载、触发警报或采取其他控制举措。

2.软件平台的搭建与功能设计

在当前信息技术飞速发展的时代背景下，智能化的监控系统逐渐凸显为维护设施安全与提升管理效率的核心。此系统中，软件平台扮演着重要的角色，其核心职能的发挥依赖于精妙的设计与实施。在发展过程中需要确保软件平台的架构具有卓越的伸缩性，迎合技术迭代与业务扩张的需求，确保系统能够灵活融入新兴模块与服务，同时维持既有功能的稳定性。在数据管理层面，该平台需展现出卓越的数据吞吐能力，以满足对大规模数据集的即时分析与储存需求。这不仅涉及高效的数据收集与存储技术，更需搭载强劲的数据处理核心，实现数据的迅速剖析与即时反馈[8]。同时，用户界面的亲和力不容忽视，一个清晰易操控的界面能极大提升用户体验，减少培训开支，效率自然提升。在功能构建上，平台应集成多项关键功能。例如，实时监控能力让管理者随时洞察系统状态，异常能够即时察觉。预警机制通过历史与实时数据的剖析，预见潜在故障，为防患未然提供可能。远程操控则赋予了管理在任意地点的灵活调整能力提升了系统的响应力。数据分析与报告输出功能对于监控系统而言同样重要。深度挖掘数据，平台能揭示运行规律，为决策提供支撑[9]。报告功能则将复杂数据转化为易于理解的图表与文档。为了增强系统智慧，需要集成先进的机器学习与人工智能算法，系统通过学习历史数据可不断精准故障预测模型，这不仅促进预测性维护，减少停机，更是系统持续优化的数据基础。

（二）应用效果分析

1.提高变电站运行效率

在电力系统的维护与管理领域，变电站引入的智能监控系统正逐渐成为提高整体运行效能与稳固性的核心策略。依托于尖端

传感技术与监控装备的布局，该系统能够对核心设施及其运行参数进行即时跟踪与监测。该监控系统具备全天候的数据搜集能力，并借助大数据的深度分析与人工智能算法，对设施运行状况进行精准解读，进而达到对隐患的早期发现。一旦监测到设施运作异常，该系统便能迅速触发预警机制，即时告知运维团队执行检查与养护，有效预防设备故障及大规模的停电事故。这种前瞻性的维护措施显著提升了变电站的稳定性，同时减少了设备故障带来的经济及社会影响。不仅如此，该技术还能对设备运行参数进行优化调整。系统通过精准操控，确保设备在最优状态下作业，进而提升能源转换率，降低不必要的损耗。诸如变压器负荷管理、电力线路损耗分析等均能在其监控下得到优化，促进能源的高效使用。智能监控还拓展了远程操控功能，允许对变电站设备进行远距离的操作与调节，这不仅提升了运维效率，也减少了人员在危险环境中的工作时长[10]。

2.降低运维成本与风险

智能监控系统在现代设施与企业运维管理中的应用引领了一场管理方式的革新。相较于以往费时费力且效率不高的传统人工巡检，这一技术的运用显著提升了监控效率。该技术依托传感器、摄像头以及数据分析软件的综合部署，实现了对设施运行状态的实时监测并能自主辨识异常状况，显著降低了人工巡检的必要性。这不仅节约了人力资源成本也极大增强了监控的精准性与效率性。运维人员得益于远程监控能力，得以随时了解设备状态，对各类问题作出即时响应。更为关键的是，该系统具备预见性故障预警能力，能预见潜在风险，引导运维人员精准维护，有效避免了突发故障。这不仅减少了经济损失，也大幅提升了安全系数。除此之外，监控系统还能自主记录运维数据生成详尽的记录与报告，这些信息成为运维决策的坚强后盾，助力管理层精准评估设备状态，优化策略，降低风险。

（三）面临的挑战与解决方案

1.数据安全与隐私保护

在智能监控技术日渐普及的背景下，维护数据安全与个人隐私是需要重点解决的问题。对此，必须实施一套多层次的安全策略，涵盖数据加密技术、权限访问控制以及网络安全的加固等手段。同时必须拟定并执行一系列严格的数据管理与隐私保障政策，以确保数据从收集到处理各环节均遵循法律法规的框架。数据加密技术，其作为守护数据安全的基石，利用高级加密法则，保障数据即便遭非法获取也难以被破译。同时，实施精准的访问控制，仅授权特定人员接触敏感信息，以此减少泄露的风险。网络安全同样不容忽视，特别是在智能监控系统依赖网络传输的情境下，部署如防火墙和入侵检测系统等成为必需，以抵御黑客侵袭。定期安全扫描与系统升级能及时补强潜在的安全漏洞。进一步确立和执行严格的数据及隐私政策，企业需透明化数据收集意图与方法并建立标准流程。对敏感数据，坚持最小化收集原则并在使用后及时销毁。遵循和适应法律法规是根本，企业需实时关注法律变动，确保合规，并建立监管机制，通过培训提升员工在数据安全和隐私保护方面的认知与规范。

2.技术更新与人才培养

随着智能监控技术的高速发展，它不仅塑造了我们的日常生活和工作模式也对运维人员提出了全新的挑战。面对这种变化，运维人员需持续升级其知识库与技能，以保障智能监控系统得到有效和精准地管理与维护。在此背景下，构建一套系统的培训与继续教育体系显得尤为关键。首先，企业定期开展内部训练活动，邀请行业专家和经验丰富的工程师传授前沿监控技术及市场趋势。此举旨在帮助运维人员跟上领域内的最新发展，增强其在实际问题面前的应对之力。通过与专业培训机构携手，企业可向员工提供全面的学习课程，助力其深化专业知识。其次，鼓励运维人员积极参与外部研讨会和技术交流会，拓宽视野，促进同业间的经验分享与创新思维碰撞。与高等教育机构及研究机构的协作也是企业技术创新的重要渠道。合作中，企业得以引入尖端研究成果，维持技术领先地位并通过建立联合实验室或科研项目，吸引杰出人才共促技术研发，实现双方共赢。

五、结束语

综上所述，本研究深入探讨了10千伏箱式变电站中智能监控技术的运用，揭示了其在提升变电站的运作效率、减少运维的经济与风险负担方面的突出效益。该技术依托于硬件装置的精心配置及软件界面的精心设计，得以对变电站的实时状态进行智能化监控与管理。尽管如此，伴随技术演进，数据安全、隐私防护、技术迭代与人才培育等挑战亦逐步显现。展望未来，研究与实践智能监控技术的深度应被加强，同时需完善法规体系与标准建设，强化专业人才的培养与技术实操训练，以有效应对电力系统中该技术应用的诸多挑战。

参考文献

[1]刘永振. 智能变电站二次设备运维中的监控与故障识别技术分析［J］. 集成电路应用，2023，40 (12)：396-397. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.12.175.

[2]刘泽锴，陆婷婷. 智能变电站中的信息自动监控技术应用［J］. 集成电路应用，2023，40 (11)：266-267. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.11.122.

[3]申凯. 智能变电站监控信息自动验收技术的应用研究［J］. 户外装备，2022(12):28-30.

[4]刘建文，颜勇，林桂柯，等. 提高变电站电力系统自动化技术途径研究［J］. 中国设备工程，2023，(20)：231-233.

[5]张年初，纪欣颖. 智能变电站的变电运维技术分析［J］. 集成电路应用，2023，40 (09)：212-213. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.09.095.

[6]申定辉，刘东圆，王辛，等. 智能变电站二次防误技术及工程实践［J］. 安徽电气工程职业技术学院学报，2023，28 (02)：30-42.

[7]徐晨，赵飞. 智能变电站中的运维监控技术应用［J］. 集成电路应用，2023，40 (06)：236-237. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.06.107.

[8]王亚飞，张朋丰，王讯，等. 采用集群测控的智能变电站新型监控方案技术经济性分析［J］. 山东电力技术，2023，50 (04)：32-40.

[9]戴洋. 浅析智能变电站监控系统网络安全渗透技术［J］. 网络安全技术与应用，2023，(01)：91-93.

[10]潘启迪. 智能电网10kV/380V变电站监测研究［J］. 电气传动自动化，2022，44 (06)：23-25.

火电厂锅炉系统安全性分析与评估方法研究

刘扬

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 毕节 551500

摘　　要： 本文探讨了火电厂锅炉系统的安全性分析与评估方法，从锅炉系统的安全性、设备安全性评价方法、系统能效评价方法、人员操作因素评价四个方面进行了详细的研究。通过对锅炉系统在实际运行中的各项参数、设备状态、能效表现以及人员操作的全面分析，提出了相应的安全性评估方法和改进措施，旨在为火电厂的安全生产提供理论支持和实践指导。

关 键 词： 火电厂；锅炉系统；安全性分析；设备安全性评价

Study on the safety analysis and evaluation method of boiler system in thermal power plant

Liu Yang

Guizhou Qianxi Central Water Power Generation Co., LTD. Bijie, Guizhou 551500

Abstract: This paper discusses the safety analysis and evaluation method of boiler system in thermal power plant, and makes a detailed study from four aspects of boiler system safety, equipment safety evaluation method, system energy efficiency evaluation method and evaluation of personnel operation factors. Through the comprehensive analysis of the parameters, equipment status, energy efficiency performance and personnel operation of the boiler system in the actual operation, the corresponding safety evaluation methods and improvement measures are put forward, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the safety production of thermal power plant.

Keywords: thermal power plant; boiler system; safety analysis; equipment safety evaluation

火电厂锅炉是电力生产中的核心设备，其安全运行至关重要。为了确保锅炉的正常运转并预防潜在的安全风险，进行定期的安全风险评估与辨别是必不可少的。本文将从多个角度对火电厂锅炉系统的安全性进行分析与评估，并提出相应的改进建议。

一、火电厂锅炉系统安全性分析

（一）整体运行工作状况

火电厂锅炉系统的整体运行工作状况是评估其安全性的基础。在平衡通风锅炉的运行中，必须密切关注锅炉是否处于烧正压状态，这是确保锅炉稳定运行的关键指标之一。若锅炉出现烧正压异常，可能意味着炉膛内的压力平衡被打破，进而影响燃烧效率和安全性。同时，吸风机的出力情况也至关重要，它直接关系到燃烧自动调节装置能否顺利投入运行。只有当吸风机出力满足一定条件时，燃烧自动调节装置才能有效发挥作用，确保锅炉燃烧的稳定性和经济性。在主蒸汽或再热蒸汽系统方面，需要特别关注蒸汽温度是否频繁超温。蒸汽超温不仅会降低蒸汽的品质和效率，还可能对锅炉设备造成严重的热损伤。因此，必须严格按照规定执行定期排污操作，及时排除锅炉内的杂质和污垢，保持蒸汽系统的清洁和畅通[1]。此外，吹灰器的正常投入也是保障锅炉安全运行的重要环节。吹灰器能够定期清除燃烧室和受热面上的积灰和结焦，提高锅炉的热效率和安全性。若吹灰器出现故障或无法正常投入，燃烧室内就可能经常发生严重结焦，进而影响锅炉的稳定运行和安全性。因此，必须加强对吹灰器的维护和检修工作，确保其始终处于良好的运行状态。

（二）锅炉本体主要部件及附属设备的技术状况

火电厂锅炉系统的安全性，在很大程度上取决于锅炉本体主要部件及附属设备的技术状况。汽包、联箱和导汽管作为锅炉的核心部件，其状态直接关系到锅炉的整体安全运行。若这些部件存在尚未彻底消除的爆破隐患，如裂纹、腐蚀或磨损等，就可能在锅炉运行过程中发生突然破裂，导致严重的事故。因此，必须定期对这些部件进行详细的检查和评估，及时发现并处理潜在的安全隐患。除了锅炉本体部件外，锅炉以外的高温、高压大口径汽或水管道及阀门也是安全性的关键所在。这些管道和阀门承受着极高的温度和压力，若存在爆破隐患或质量问题，同样可能引发严重的安全事故。因此，在日常维护和检修工作中，必须加强对这些管道和阀门的检查，确保其完好无损、运行正常。此外，

作者简介：刘扬（1994-），男，汉族，贵州省贵阳市人，学历大专，职称：助理工程师，研究方向：火电厂锅炉运行。

事故放水门、真空排汽门等重要阀门的开关状态也至关重要[2]。若这些阀门存在开关失灵等缺陷，就可能在紧急情况下无法及时发挥作用，从而给锅炉系统的安全运行带来极大的威胁。因此，必须对这些阀门进行定期的试验和维护，确保其始终处于良好的备用状态。

（三）安全保护装置的状态

安全阀作为锅炉系统的重要防线，其性能状态直接关系到锅炉的安全运行。按照规定，安全阀需要定期进行校验，以确保其在压力超过设定值时能够准确、及时地开启，释放多余的压力。同时，放汽试验也是检验安全阀性能的有效手段，通过模拟实际工况下的压力变化，可以直观地观察到安全阀的反应速度和开启程度。压力表则是监测锅炉内部压力变化的重要工具。为确保其准确性，压力表同样需要按照规定的周期进行校验。只有确保压力表的读数准确可靠，操作人员才能根据实时数据做出正确的判断和决策。此外，就地水位表的设计、安装和运行也必须符合相关规定。水位表的设计应合理，确保水位清晰可见，便于操作人员随时观察锅炉水位的变化情况。在安装过程中，需要严格按照图纸和技术要求进行施工，确保水位表的安装位置、角度和高度等参数符合标准[3]。在运行过程中，操作人员应定期对水位表进行检查和维护，确保其始终处于良好的工作状态。

二、设备安全性评价方法

（一）定期检查与维护

为了确保锅炉本体及其附属设备的安全可靠，必须制定并执行严格的定期检查与维护计划。这一计划应涵盖锅炉本体、安全阀、压力表、水位表等所有关键部件，确保每一个细节都不被忽视。在检查过程中，专业人员需要利用先进的检测技术和工具，对设备的运行状态进行全面、细致的评估。同时，对于发现的任何潜在问题或隐患，都应立即进行记录并安排维修，确保设备在第一时间恢复到最佳工作状态[4]。此外，维护工作的质量同样不容忽视。在维修过程中，应使用符合标准的零部件和材料，并严格按照操作规程进行作业，以确保维修后的设备能够达到预期的安全性能和使用寿命。通过定期检查与维护的深入实施，可以大大降低锅炉系统发生故障的风险，为火电厂的安全稳定运行提供有力保障。

（二）风险评估体系建立

为了全面保障锅炉系统的安全稳定运行，建立一套完善的风险评估体系显得尤为重要。这一体系的核心在于对锅炉的各个组成部分进行详尽的风险分析，从而精准识别出潜在的危险源。在风险评估的过程中，首先需要明确锅炉系统中可能存在的各种危险因素，如设备老化、操作失误、外部环境变化等。随后，要对这些因素可能引发的后果进行科学的评估，包括故障发生的概率、可能造成的损失以及对人员安全的影响等。基于这些评估结果，可以进一步制定出针对性的预防措施，旨在降低故障发生的概率或减轻其可能带来的后果。通过不断完善和优化风险评估体系，可以实现对锅炉系统安全性的动态监控和管理，确保在潜在风险转化为实际事故之前，就能够采取有效的措施进行干预和防范[5]。这不仅有助于提升锅炉系统的整体安全水平，还能为火电厂的安全生产提供坚实的保障。

（三）设备编号及标志

在火电厂锅炉系统中，设备的编号及标志不仅是设备识别的基础，也是设备管理和维护的重要依据。为确保设备的安全运行，必须实施规范化的编号及标志管理。具体而言，阀门作为锅炉系统中的关键部件，其编号及开关方向标志的清晰度和准确性至关重要。通过为每个阀门分配唯一的编号，并在显眼位置标注其开关方向，操作人员可以迅速准确地识别和操作阀门，避免因误操作而引发安全事故。同时，管道的涂色或色环、介质名称及流向标志也是不可忽视的细节。通过为不同介质和功能的管道涂上不同的颜色或使用色环进行区分，并在管道上明确标注介质名称和流向，可以极大地提高设备管理的效率，减少因误判或混淆而带来的潜在风险[6]。综上所述，设备编号及标志的规范化管理对于锅炉系统的安全运行具有重要意义，它不仅能够提升设备识别的准确性和效率，还能为设备的维护和管理提供有力的支持。

三、火电厂锅炉系统能效评价方法

（一）热效率计算

在火电厂锅炉系统的能效评价中，热效率计算是至关重要的一环。通过采用正平衡法或反平衡法，可以对锅炉的热效率进行精确计算，从而了解锅炉在不同负荷和工况下的能效表现。正平衡法主要通过测量锅炉输出的蒸汽或热水产量以及消耗的燃料量，来计算热效率。这种方法直观且易于操作，但要求测量数据准确可靠。而反平衡法则通过测量锅炉各项热损失，如排烟热损失、化学不完全燃烧热损失等，来推算热效率。这种方法虽然相对复杂，但能够更全面地反映锅炉的能效状况[7]。通过比较不同负荷和工况下的燃料消耗量和蒸汽或热水产量，可以深入分析锅炉的能效变化趋势，找出能效提升的潜力点，为锅炉系统的优化运行和节能降耗提供有力依据。

（二）排烟温度与过量空气系数

在火电厂锅炉系统的能效评价中，排烟温度和过量空气系数是两个关键的参数指标。排烟温度的高低直接反映了锅炉对燃料的利用程度。当排烟温度较低时，意味着锅炉能够更有效地捕捉并利用燃料燃烧产生的热量，从而减少热损失，提高热效率。同时，过量空气系数也是一个需要精心调控的参数。它表示锅炉燃烧过程中实际提供的空气量与理论所需空气量的比值。若过量空气系数过大，会导致大量冷空气进入锅炉，增加排烟热损失；若过小，则可能导致燃料燃烧不充分，产生化学不完全燃烧热损失。因此，将过量空气系数控制在合理范围内，对于提高锅炉的热效率至关重要。通过对排烟温度和过量空气系数的持续监测与优化调控，可以显著提升锅炉系统的能效水平，实现节能降耗的目标。

（三）给水系统设计

在火电厂锅炉系统的能效评价中，给水系统的设计同样占据

重要地位。给水水质的好坏直接影响到锅炉的热效率以及长期运行的安全性。为确保锅炉的高效运行，必须严格控制给水水质，防止因水质不良导致的结垢和腐蚀问题。结垢会降低传热效率，增加能耗，而腐蚀则会损害锅炉设备，缩短使用寿命。因此，通过采用先进的水处理技术，如软化、除盐、加药等，可以有效提升给水水质，保障锅炉的安全高效运行。此外，提高给水温度也是提高锅炉热效率的有效途径。给水温度越高，锅炉所需的燃料量就越少，热效率也就越高。因此，在给水系统设计中，应充分考虑提高给水温度的措施，如采用预热器等设备，以充分利用余热资源，提升锅炉系统的整体能效水平[8]。

四、人员操作因素评价

（一）操作规范性

在火电厂锅炉系统的运行中，操作人员的规范性操作是确保系统能效与安全的关键因素。每一位操作人员都应深入理解并熟练掌握锅炉系统的运行规程，这包括但不限于锅炉的启动、运行、调整、停炉以及紧急故障处理等各个环节。严格遵循操作规程，意味着操作人员在执行每一项操作时都能做出正确的判断，避免误操作带来的潜在风险。这不仅能够保证锅炉系统的稳定运行，还能有效减少因操作不当引发的故障和事故，从而提升锅炉系统的整体能效水平。同时，规范性操作也是操作人员职业素养的体现。通过持续的学习和实践，操作人员可以不断提升自己的操作技能，为锅炉系统的安全高效运行提供有力保障。

（二）应急处理能力

在火电厂锅炉系统的日常运行中，操作人员不仅需要熟练掌握常规操作流程，还应具备出色的应急处理能力。面对锅炉系统可能出现的各种突发故障，如引风机跳闸、水位异常等紧急情况，操作人员必须能够迅速而准确地做出反应，采取有效的紧急处理措施。引风机跳闸可能导致锅炉排烟不畅，影响燃烧效率；水位异常则可能引发锅炉干烧或满水等严重事故。在这些紧急情况下，操作人员的应急处理能力直接关系到锅炉系统的安全运行以及事故后果的严重程度[9]。因此，火电厂应定期组织操作人员进行应急演练和培训，提升他们的应急处理能力和心理素质。通过模拟真实故障场景，让操作人员熟悉并掌握各种紧急处理措施，确保在真正面对突发故障时能够沉着应对，有效保障锅炉系统的安全运行。

（三）培训与考核

在火电厂锅炉系统的运行中，操作人员的专业技能和应急处理能力是确保系统安全高效运行的重要基石。因此，定期对操作人员进行培训和考核显得尤为重要。培训可以帮助操作人员不断更新专业知识，掌握最新的技术动态和操作方法。通过系统的理论学习与实践操作，操作人员可以深入理解锅炉系统的运行原理，提升操作技能，减少误操作的可能性。而考核则是对操作人员学习成果的有效检验。通过定期的考核，可以及时发现操作人员在知识和技能上的不足，进而进行针对性的辅导和提升[10]。同时，考核也是对操作人员工作态度和职业素养的考察，有助于激发其学习积极性和工作热情。

五、结论

本文通过对火电厂锅炉系统的安全性、设备安全性评价方法、系统能效评价方法、人员操作因素评价的研究，提出了相应的评估方法和改进措施。这些方法和措施有助于火电厂提高锅炉系统的安全性和能效水平，确保电力生产的顺利进行。未来，随着技术的不断进步和智能化水平的提高，火电厂锅炉系统的安全性与能效评估将更加精确和高效。

参考文献

[1]杨兴龙. 火电厂锅炉运行控制与故障预防分析［J］. 科技创新与应用，2019,(24):148-149.

[2]海军. 基于电厂锅炉混煤掺烧技术分析及节能措施研究［J］. 内蒙古煤炭经济，2021(19):20-21.

[3]焦玉明. 基于FBPNN的火电厂锅炉故障诊断研究［J］. 现代计算机，2024,30(14):80-83+88.

[4]李鸣. 火电厂锅炉运行中的节能对策研究［J］. 自动化应用，2024,65(05):243-246.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.05.076.

[5]王淑莉，罗国甘，许世朋. 火电厂锅炉补给水处理系统调试安全风险防控［J］. 江西电力，2022,46(09):50-52.

[6]韩征飞，赵保华，姜磊. 火力发电厂锅炉补给水处理系统的扩容设计［J］. 广州化工，2022,50(16):163-165.

[7]刘建辉. 火电厂锅炉补给水处理系统运行故障及对策分析［J］. 冶金管理，2021,(21):28-29.

[8]吕旭光. 火电厂SCR脱硝系统经济性优化控制与模拟［D］. 华北电力大学(北京),2021.DOI:10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.001362.

[9]吴雪茹，鱼凤萍. 超滤装置在火电厂锅炉补给水处理系统中的应用［J］. 电子技术与软件工程，2020,(23):105-106.

[10]王继强，李友志，白帆，等. 浅析火电厂锅炉运行控制与故障预防［J］. 科技视界，2020,(28):89-90.DOI:10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2020.28.34.

输变电线路施工技术在电网建设中的应用

纪鑫

国网黑龙江省送变电工程有限公司，黑龙江 哈尔滨 150070

摘　　要： 电力资源是社会经济发展的重要能源。电网建设可以有效优化能源分布，满足所在区域电力供应业需求。为了有效保障电力供应的安全性、稳定性以及持续性，要综合地域经济发展能力，合理优化输变电工程项目。对此，重点分析了在电网建设中输变电线路施工技术以及主要手段，了解了主要技术特征，以供参考。

关 键 词： 输变电线路；施工技术；电网建设

Application of transmission and transformation line construction technology in power grid construction

Ji Xin

State Grid Heilongjiang Power Transmission And Transformation Engineering Co., Ltd. Harbin , Heilongjiang 150070

Abstract: power resource is an important energy for social and economic development. Power grid construction can effectively optimize energy distribution and meet the demand of regional power supply industry. In order to effectively ensure the safety, stability and sustainability of power supply, it is necessary to integrate the regional economic development ability and reasonably optimize the power transmission and transformation project. In this regard, the construction technology and main means of power transmission and transformation lines in power grid construction are analyzed, and the main technical characteristics are understood for reference.

Keywords: transmission and transformation lines; construction technology; power grid construction

随着我国输变电线路施工技术的高速发展，施工范围呈现逐渐扩大的趋势。重视施工技术管理，应用现代化、智能化以及机械的方式进行管理，可以有效的提高输变电线路施工质量，推动我国电网建设与持续化发展。对此，在电网项目施工中要重点分析输变电线路施工质量以及关键技术手段，优化施工流程，方可有效保障输变电线路的稳定、可靠性发展，进而为我国电力行业的持续化、智能化以及数字化建设奠定基础。

一、输变电线路施工技术

（一）基础设施选择

输变电线路施工技术可以有效提高施工效率。机械化施工技术可以有效提高施工质量。目前随着多种现代化、智能化手段以及机械化施工技术的应用，切实提高了施工质量。

在电网建设中，综合输变电工程以及施工特征，优化线路施工基础设施。杆塔以及各个基础结构的选择中要重点分析应力因素，如果应力因素影响过大，则会导致出现倾覆或者下陷或者上拔等多种问题。对此，为了解决此种问题，优化输变电工程施工质量，要重点处理好埋入深度[1]。

铁塔结构则要固定在混凝土基础结构上。在施工中充分保障基础坑回填夯实符合技术要求，对不同基础结构要应用不同的处理方式。重点分析线路的铁塔、拉线预制等相关基础性的结构。在施工中要重点增强上拔力的承受能力，夯实程度要基于原有标准进行上拔80%。

在施工现场要进行现浇筑施工处理，优化结构特征，对于体积相对较小且重量相对较大的特征，在施工中分析上拔力度，如果影响相对较小，则要将夯实密度控制到70%以上。而在交通运输便捷的区域，则可以应用钢筋、运营力等诸多结构作为杆塔的基础性结构[2]。在施工中受到运输以及线路等问题的影响，在设计中要合理应用铁塔。如果在项目施工中输变电工程线路要穿越农田等设施，要合理减少带拉线直线型铁塔的应用比例。这样则可以有效降低在施工以及后期运行中产生的不良影响。确定输变电工程、线路施工基础路径之后，则要做好基础设施、机械电缆等设备的选择以及应用。在进行控制箱组的设置中，要合理控制数量，方可有效满足应用需求。

（二）高压直流柔性技术

高压直流柔性技术可是实现分区性的优化管理，避免出现电路混乱等诸多问题，切实提高了管理效率以及精准度。电力系统

在运行中如果出现故障隐患问题，则可以应用高压直流柔性技术手段，这样不仅可以快速的启动备用的系统，也可以保障电力系统在受到故障因素的影响之下的稳定性，有效保障了系统运行的安全性、稳定性。

高压直流头型技术可以有效处理在运行中的潜在故障问题。输变电线路施工中通过此种技术可以有效的实现对有功潮流的调节以及处理，保障电网在运行中电压的恒定性。在有功固定状态下，可以根据实际状况对无功功率进行优化调控，如果出现电力事故问题，可以快速启动以及恢复供电系统[3]。无源电网则可以在最快的时间中获得供电，在功率出现不同程度的变化以及波动的时候，滤波器不需要无功功率进行支持，则可以有效实现过供电的需求。

高压直流柔性技术具有模块化的特征，在系统的应用中各个部分结构紧凑，便于安装以及移动化处理，日后的维护以及管理操作也具有便捷性的特征。同时此种技术便于扩展以及优化操作，可以满足系统功能拓展以及智能化发展的需求。

（三）张力架技术

张力架技术在电网建设中应用具有较强实用性，可以有效满足多种复杂的环境。通过此种技术不断进行施工处理，可以充分利用基础性的功能，进行输变电线路的优化以及处理。

张力架技术可以充分保障信息数据的完整性，避免外界环境破坏施工环境，有效避免了信息数据流失等问题的出现，也在一定程度上节省了施工成本。缩短了施工工期，具有成本低廉的特征优势。张力架线技术可以有效提高线路安全性[4]。在施工中导线全程架空，这样则可以有效避免与地面的直接接触，有效减少了电晕以及无线电干扰等诸多问题，同时在施工中利用机械化的方式进行处理，可以有效控制导线展放以及紧线的整个流程，充分保障了施工质量。在张力架线施工作业中，因为导线处于架空的状态中，可以有效减少与地面相关相关障碍物的接触与摩擦，充分保障了导线的整体性能，减少了损伤风险，在一定程度上延长的线路应用寿命。张力架线施工技术在复杂的地理环境中应用，可以有效优化线路结构，根据实际状况灵活操作，合理设置间距，充分提高了跨越施工作业的安全性。

二、电网建设中智能化输变电线路施工技术

合理应用智能化施工技术手段，可以有效优化电网建设质量。在输变电线路施工中常见的智能化施工技术主要包括了无人机、智能化设备以及光纤传感器、三维数字化设计等技术手段[5].其主要如下：

（一）无人机

无人机架设输电线路与巡检等方面具有重要的作用，可以实现高精度的综合控制以及技术性的管理。基于多种现代化技术手段，可以实现线路巡检以及动态维护处理。例如，无人机可以实现对生态增容模块化处理，监测装置优化处理等，实现实时性监控以及动态检测。例如，在电网建设施工中通过电缆辐辐射机器人进行处理，可以有效提高了施工效率，增强了施工作业的安全性[6]。

（二）光纤传感技术

通过光纤传感技术可以利用传感器等多种设备进行动态分析，实时监测线路的温度、荷载以及振动等基础的参数信息，快速分析异常问题以及实际状况，实现动态预警以及精准化定位。通过此种技术可以有效提高了施工技术的安全性，有效减少了潜在的安全隐患问题。

在输变电线路施工中也可以应用智能化机械设备手段，实现自动化管理，进行自动化定位处理、科学化路径优化，制定任务，解决复杂以及高危险的工作，切实提高了塔杆安装以及线缆拉设施工作业质量。

（三）三维数字化技术

而基于三维数字化设计技术可以实现精细化、动态化设计，基于数字可视化、信息技术手段，可以在一定程度上节省大量的成本以及时间。通过 BIM 以及 GIS 技术可以有效对电网数据智能化、运输数据动态化、实时信息及时化的综合控制，分析环境信息数据，构建三维立体化智能化运维管控平台，则可以有序出现智能化巡检路径规划以及动态化管理。

（四）智能变电站技术

智能变电站主要应用自动化信息数据采集、智能化测量以及控制等基础功能进行处理，可以有效实现信息化处理，满足了通信平台网络以及信息共享标准化建设发展的需求。在现代化的电网建设中也应用了诸多人工智能辅助化设计技术，通过智能化评价决策支持体系、继电保护等多种技术手段，进行集成化、设备应用寿命周期化动态管理，切实提高了设计的客观性、全面性以及精准性，有效实现对电网建设的综合控制[7]。

三、电网建设中输变电线路施工技术应用要点

（一）基础施工

基础施工技术可以有效满足输变电线路地下施工的需求，为后续施工作业提供了基础支持。在施工中为了有效避免出现杆塔倾斜以及变形等问题，在施工中必须要做好技术性的问题。输变电线路基础施工涉及到了大板基础施工、岩石嵌固基础施工、联合性等多种不同的施工技术手段。在施工中要综合地形、地质结构以及埋设深浅等多种技术手段进行分析，如果基础底板在软弱涂层中填埋则必须要提高抗弯能力。例如在部分的流沙区域中不适合应用模板浇筑的作业方式，因此在施工中要应用深埋的方式进行处理，应用此种技术需要大量的混凝土。如果大板施工底板相对较薄，只能对相对较浅的区域进行填埋，在流沙区域进行处理则会导致出现稳固性不足等问题。因此，要综合实际状况采取技术性措施，做好方案优化以及处理，方可有效保障施工质量[8]。

（二）线路选型以及计算应用

线路要综合载流量、电阻、环境温度、风速等多种因素，对其系统分析，方可优化线路物理以及电学性能。对于线路材料则要综合抗腐蚀性以及老化性等特征，进行综合分析方可有效保障

线路结构的综合寿命。线路计算要保障张力符合设计要求，设计线路张力以及弧垂等因素，在设计中避免线材应力过大而出现的断线等问题，也要避免过小而出现线路安全性不足等诸多问题而出现的线路接地或者短路等诸多问题。弧垂计算涉及到线路与地面的最小安全距离，因此要综合项目特征进行计算，方可有效满足计算天气状态下线路扰度不会接触地面[9]。

（三）架线技术

架线技术是输变电线路施工技术中的重要构成内容，主要包括了拖地展放施工以及放线滑车、张力展放等多种技术手段。在拖地展放施工技术应用中，要根据实际状况同步应用多种管护措施。此种技术主要就是应用输变电路相对较长的工程项目中。架线技术输变电线路施工技术中最为重要的技术手段之一，直接关系到整个工程项目的质量。

1.放线滑车施工技术

在放线滑车施工作业中要合理控制导线以及滑车沟槽，根据实际状况进行配置优化，避免出现出槽等问题。方可有效保障施工质量，降低安全隐患等诸多问题。

2.拉线与绝缘子安装

在架线施工作业中，拉线与绝缘子安装可以有效保障线路结构的稳定。在拉线作业中，技术人员要精准控制线路张力特征，充分满足设计基础要求。张力过大会会导致限流过度拉伸等问题，造成了线材内部结构微观的缺陷程度扩大继而出现断线等隐患问题。反之则会导致线路的胡弧垂高于弧垂范围，在一定程度上会增加线路结构与地面等相关物品的接触风险隐患问题。绝缘子安装质量直接关系到线路的电气性能，在安装中要保障与线路接触良好，避免出现电路限流泄露等诸多问题，也可以有效避免线路接地与短路等问题的出现。绝缘子在安装中要重点控制位置的精准性控制，方可有效满足多种恶劣天气状态之下的综合性能。

3.拖地展放

拖地展放施工技术应用中，要采取多种同步措施以及手段。方可有效满足施工技术要求。

在施工中应用拖地展放技术操作简单便捷，可以平铺线路，不会对线路产生预应力，无需设备辅助施工，操作简单便捷。但是应用此种技术进行施工处理，会导致地面结构与线路之间产生一定的摩擦力，容易导致线路受损等问题的出现。对此，在应用此种技术手段的时候，要综合线路的破坏程度，变化特征以及实际状况进行分析，基于施工特征以及工程技术要求进行分析，合理应用。同时可应用张力展放施工技术进行处理，此种技术会在一定程度上增加线路结构与地面之间的距离，再施工中可以在短距离的输变电线路中应用，综合实际状况确定施工技术以及方案[10]。

四、结束语

在输电线路施工作业中，要对其进行精准试验以及科学调试，保障电气、机械以及安全性能等符合设计的规范要求。根据技术要求进行记录分析，合格之后方可开展后续工作。在电网建设施工中合理应用输电变线路施工技术手段，重视规划设计以及材料的选择与应用，优化施工管理，通过现代化、智能化以及机械化的方式进行施工处理，可以有效提高施工质量，保障电网建设的安全性。而在施工中要做好技术性的管控，通过有效措施进行处理，方可有效减少对周边环境的影响，充分保障施工作业的安全性、稳定性。

参考文献

[1]任少斌. 探究110kV高压输变电线路的施工技术［J］. 工程建设与设计，2023,(24):172-174.

[2]孙俊. 输变电工程线路施工技术研究［J］. 建筑与预算，2023,(07):68-70.

[3]郭春江. 输变电线路施工过程中的质量控制研究［J］. 流体测量与控制，2023,4(02):85-88.

[4]张忠昊. 输变电线路施工技术及施工管护措施［J］. 光源与照明，2022,(08):201-203.

[5]吴雷. 220kV输变电工程中的线路施工技术分析［J］. 集成电路应用，2022,39(08):292-294.

[6]韩世锋. 输变电线路工程中导地线施工技术的应用研究［J］. 现代工业经济和信息化，2022,12(06):118-119.

[7]李绕堂. 输变电线路施工技术及运行管理维护探讨［J］. 中国设备工程，2022,(06):53-54.

[8]褚鹏. 导地线施工技术在输变电线路施工中的应用［J］. 电子技术，2021,50(03):66-67.

[9]刘文涛，贾瑞恒. 探究110kV高压输变电线路的施工技术［J］. 中国设备工程，2020,(24):184-186.

[10]叶明豪. 浅谈220 kV输变电线路施工技术要点［J］. 农村电气化，2020,(10):76.

基于变电站二次回路三维可视化技术研究

李志敏，朱育熹
广东潮州电力设计有限公司，广东 潮州 521000

摘　　要： 当前电力系统的安全稳定几乎完全依赖一次系统，一次设备的种类和数量随着电网规模的不断扩大和智能化程度的提高也在成倍增加，但一次系统维护人员数量难以跟上电网发展的步伐。另一方面，电气图纸繁多，回路复杂，施工过程中，施工单位针对设计图纸问题的反馈十分有限，现场图实不符的现象常有发生，在后续运维过程中，一次检修人员至变电站现场往往需要携带大量图纸，并进行人工查找，上述原因均大大影响了现场检修效率，延长现场设备停电时间的几率也明细攀升。因此对一次运维的质量和效率提出了更高的要求，其中变电站一次回路迫切的需要新技术的推进，深层次优化一次运维模式。

关 键 词： 电气回路；三维数字化；智能运维

Research on 3D visualization technology of secondary circuit in substation

Li Zhimin, Zhu Yuxi
Guangdong Chaozhou Electric Power Design Co., Ltd. Chaozhou, Guangdong 521000

Abstract: the safety and stability of the current power system are almost entirely dependent on the primary system, and the types and quantities of primary equipment are increasing exponentially with the continuous expansion of the power grid scale and the improvement of intelligence. However, the number of primary system maintenance personnel is difficult to keep up with the pace of power grid development. On the other hand, there are numerous electrical drawings and complex circuits. During the construction process, the feedback from the construction unit regarding design drawing issues is very limited. The phenomenon of on-site drawings not matching reality often occurs. In the subsequent operation and maintenance process, maintenance personnel often need to carry a large number of drawings to the substation site and conduct manual searches. The above reasons greatly affect the efficiency of on-site maintenance and increase the probability of prolonging the power outage time of on-site equipment. Therefore, higher requirements have been put forward for the quality and efficiency of a single operation and maintenance, among which the primary circuit of the substation urgently needs the promotion of new technologies to deeply optimize the primary operation and maintenance mode.

Keywords: electrical loop; 3D digital; intelligent operation and maintenance

引言

随着信息化技术的的不断发展，三维技术手段已在建筑、交通、医疗等多个领域广泛应用，电力领域内也在稳步推动三维技术在各个阶段的应用，三维技术已成为一个行业发展趋势。

一、研究背景

（一）现状及存在问题

当前阶段，数字化三维设计技术，已经在各行各业中都得到了广泛的应用，能够解决的问题也逐渐变得多样化，同时由于当前阶段的输变电工程，并没有形成统一、规范的数据标准，不同软件所处的应用平台也有着较大的差异，因此对信息利用率的提高产生了一定的影响[1]。由但在输变电工程三维设计相关标准、规范中，只规定了线路及变电一次设备的建模规范和数字化档案移交要求，缺少变电站二次方面相关内容，导致工程三维设计数

作者简介：
李志敏（1987-），男，湖北天门人，本科，工程师，研究方向：电网规划设计、电力系统咨询；
朱育熹（1985-），男，广东潮州人，本科，注册电气工程师，研究方向：电力系统。

字化移交不完整、数字档案不齐全。变电站二次方面三维建模方面的缺失影响智能变电站工程三维设计覆盖范围和应用效果，同时制约着二次系统三维全景可视化展示及高效运检。同时，随着变电站的长期运行、运维单位变更、运维人员变动、设计单位变化等客观因素，变电站传统的纸质图纸常出现丢失、不全面等情况，直接影响后续变电站的运行、维护、改扩建。而且，在变电站新建、调试、运维、检修的过程中，传统的依赖图纸查询二次回路的方式具有诸多不便之处，二次回路的查找、分析、定位等各方面效率不高。同时，由于图纸内二次回路信息的分散、图纸样式繁杂等特性，不利于直接转为数字信息进行存储，其转化准确率难以保障，对图纸与实际接线的图实一致势必造成影响。

（二）研究方向

当前的研究，主要是面向变电站电缆二次回路的三维数字化建模技术，研究电缆二次回路所涉及二次设备、端子排、压板、元器件等物理对象的工程化三维建模方法。根据设计院提供的设计图纸，根据屏柜布置图、电缆清册、端子排图、和厂家白图、说明书等资料，再根据工程现场实际取景，依次对变电站的小室、屏柜、装置、板卡、端口、端子排、硬压板、空开、以及电缆进行三维数字化建模，包含二次设备对象信息，例如装置名称、装置型号、装置编号、软件版本、生产厂家、通信接口配置等信息[2]。

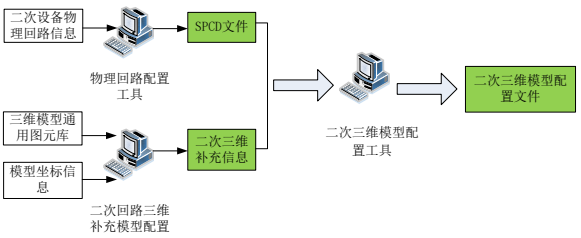
研究电缆二次回路物理连接关系数字化建模方法。按照设计院确定的电缆规则存储站内所有二次电缆的名称、规格及连接走向信息，按照二次系统装置数据传输的规划，存储每个装置的电缆传输信息。三维场景下完成二次系统层级结构搭建，并自动生成电缆及缆芯的连接关系，整合完成二次回路的三维全景模型。

研究电缆二次回路三维可视化展示方法。基于全站二次设备及元器件三维模型及电缆二次回路数字化模型，采用模型数据逆向解析、二次线缆三维场景自动布线等技术，实现在三维场景下的变电站电缆二次回路全景可视化。

二、研究内容

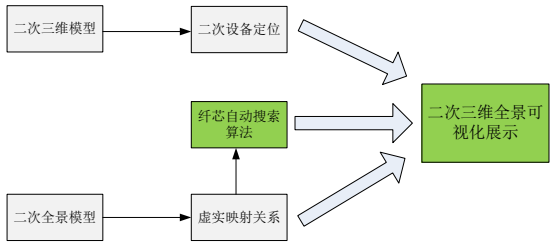
（一）研究面向变电站电缆二次回路的三维数字化建模技术

当前智能变电站的全景模型包括SCD及SPCD文件，SCD文件表示了站内逻辑回路信息，SPCD文件体现了站内光纤物理回路信息，虽然可通过SPCD文件获取物理回路信息，但SPCD的模型内不存在与三维模型交互的接口，缺少相关三维模型标识、坐标等关键信息内容，可参考输变电三维模型相关规范内的模型框架要求，以物理回路SPCD文件为基础，通过加入三维最小化通用图元引用信息、各图元相对坐标信息等内容，完成二次对象的三维拼接，通过对屏柜属性加入绝对坐标信息，完成站内以屏柜为单位的三维空间布局，最终可实现二次对象以三维的方式进行呈现。通过上述方式在设计阶段完成二次对象的三维模型数据交互配置文件后，可数字化移交给调试、运维等相关单位，为三维全景可视化开展提供数据基础。



依据二次系统三维模型，提取三维模型内补充的模型信息、坐标信息，结合全景模型文件，实例化全景模型内的各层级二次设备，确定模型的定位点，将二次三维模型在空间范围内建立，并通过层级递进的方式依次实现小室、屏柜、装置、板卡、端口逐层定位。再通过全景模型获取二次系统物理回路和逻辑回路的“虚实映射关系”，开展不同类型二次设备的“纤芯自动搜索算法”研究，实现二次系统内所有设备的自动布线，实现二次设备三维模型的光缆、光纤、电缆的三维连接，将二次系统以三维的方式进行全景可视化展现，可呈现屏柜连接三维视图、光缆电缆连接三维视图、端口全路径三维视图、物理回路逻辑回路切换视图等细分界面。

变电站二次系统数字化配置平台可基于三维对象模型，通过在三维场景设计平台下，搭建全站三维层级关系，回路配置工具获取所搭建的层级关系后，进行电缆回路物理连接关系及功能信息配置，由此完成全站电缆回路数字化模型构建。同时软件接口的可行性也能够得到有效的落实，各专业之间的信息也能够更好的融合[3]。



> 图2.1 虚实映射配置流程

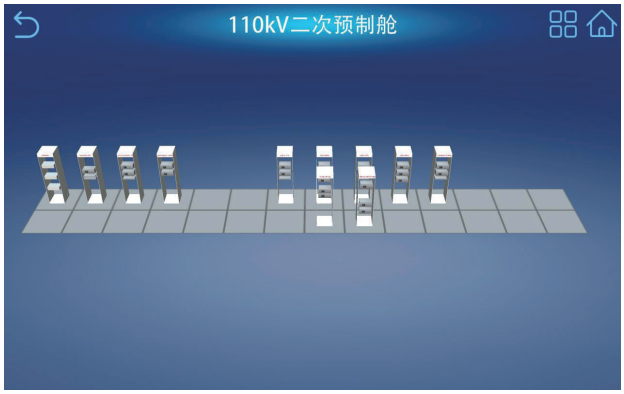
根据以上框架，搭建变电站（整体或局部）物理模型主要包括对象模型及回路模型两大部分，对象模型主要包括厂站、小室、屏柜、设备、元件、端口等，回路模型主要包括网线、电缆、光缆等。通过上述两大部分的模型定义及建立，便可实现变电站二次系统所涉及的所有物理对象间的层次结构及其回路连接关系表达流。

（二）软件设计

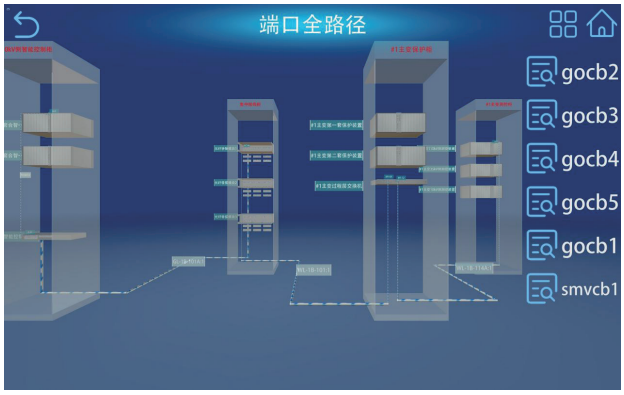
软件开发平台采用3DMax进行二次对象的三维建模，采用Unity3D进行三维展示程序的开发。然后，结合变电站二次系统实际情况，选择模型分解－基本图元库－组合模型库的整体建模方式。最后，对二次对象组合模型进行优化，包括对二次对象模型的采用减面、优化材质与贴图、LOD细节层次等技术，使模型材质鲜明，更接近真实设备，提高模型视觉效果，优化系统运行速度。

在设计过程中，通过三维模型配置工具实现全站光纤物理回路的设计、三维模型的组合引用及坐标配置；通过三维全景可视

化展示平台，解析配置完的 P3D 及已有的 SCD 文件，软件通过逆向解析及虚实对应，实现在三维场景下，自动完成二次对象的三维场景呈现及自动布线。三维全景可视化展示软件，通过层级关系视图、物理全路径视图、虚回路信息视图、线缆连接信息视图等多个方面的切换展示，全方位的提高二次系统物理回路、逻辑回路信息的查询分析效率，将有效提升设计及运检效率。



> 图2.2 屏柜三维展示管理界面



> 图2.3 端口全路径及控制块信息展示管理界面

基于 SCD 文件、P3D 文件、三维模型库采用逆向解析的方式，实现智能变电站二次电缆回路、光纤回路、逻辑回路的三维全景可视化，逆向解析三维全景。

三、项目解决问题与达成目标

本项目从数字孪生技术的角度出发，将对一次机构箱和汇控柜内元器件及电气回路进行数字化建模技术开发，结合各机构箱和汇控箱间的电缆连接表，形成高压开关场地一次设备的数字化文件，并进行全过程可视化展示。基于本项目，一次专业人员可通过数字建模可视化，减少现场手动查阅图纸的工作量，对新站验收、老旧站改造期间临时变更的电气回路进行记录存档，助力变电站现场消缺和故障分析，从而进一步保障电网的稳定运行，同时也有有利于绿色低碳循环发展。

四、小结

通过构建变电站电缆二次回路数字化及智能运维系统，基于全站二次电缆回路三维数字化建模技术、二次电缆回路图形可视化技术，实现通过移动作业终端扫描获取电缆回路及传输数据信息，并快速定位目标电缆的三维可视化界面，同时，通过提供基于数字化成果的智能运维扩展应用。

参考文献

[1] 吕德刚，吕霞，刘富元，等，三维数字化设计技术在输变电工程中的应用［J］. 电子技术与软件工程，2016，No.83(09):97.

[2][刘检华，孙连胜，张旭，等，三维数字化设计制造技术内涵及关键问题，计算机集成制造系统，2014，20(3)

[3] 张璟，李强. 三维数字化设计技术在输变电工程中的应用［J］. 华东科技：学术版，201635(011):P.284-284.

双机回热系统在1000MW超超临界燃煤机组中的构建及分析

梁岩

山东电力工程咨询院有限公司，山东 济南 250061

摘　　要： 目前高效清洁的燃煤发电越来越受到重视。文中以1000MW常规超超临界二次再热机组为基础，针对常规二次再热系统回热抽汽过热度高，在传热过程中能量损失大的现象，提出一种带背压式汽轮机的双机回热系统，对2种方案进行研究比较。结果表明：双机回热系统可以有效降低抽汽过热度，减少加热器不可逆损失；在100%THA工况下，降低汽轮机热耗30kJ/ kWh，降低发电煤耗1.1 g/kWh。

关 键 词： 超超临界机组；二次再热；热耗

Optimization of Double-turbine Regeneration System in 1000MW Ultra-supercritical Double – reheat Unit

Liang Yan

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute CORP.,LTD. Jinan, Shandong 250061

Abstract: At present, efficient and clean coal power generation is receiving more and more attention. In this paper, a kind of double reheat steam with small regenerative steam turbine was proposed based on the current 1000MWconventional supercritical reheating unit. By comparing calculation of 1000 MW high ultra-Supercritical double-reheat system compared to the conventional ultra-supercritical double-reheat unit, the heat rate decreases by about 30KJ/Kwh. The results show that the double-reheat system can effectively reduce the superheat of the steam and reduce the irreversible loss of the heater. The heat loss of the turbine is about 30 kJ/ kWh，equivalent to coal consumption rate of 1.1 g/ kWh.

Keywords: ultra-supercritical pressure unit; double reheat; heat rate

引言

我国以煤电为主的发电格局使得火电厂煤炭消耗量占煤炭总产量的一半以上[1]，多年的电力结构调整，确立了超(超)临界高参数大容量机组的未来火电主力地位[2-3]。提高燃煤机组的蒸汽参数，发展高经济性、高效率的高参数大容量机组对我国节能减排有重要的意义。

提高机组初参数是提高发电系统效率、降低煤耗最直接的途径。我国近几年投产的国电泰州二次再热机组参数已经达到31MPa/610/620/620，随着初参数的提高，回热系统的抽汽参数随之提高，抽汽过热度亦提高，回热系统的不可逆损失增加，削弱了蒸汽参数升高带来的收益[4]。针对这一问题，传统的解决方案是通过增设外置式蒸汽冷却器来降低回热系统的过热度。近年来，有学者提出采用回热式汽轮机系统来降低再热后回热系统抽汽过热度，提高系统能级利用效率，提高机组效率。

周璐瑶[5-6]等用单耗分析法外置式蒸汽冷却器和增加回热式小汽轮机两种提高过热度的利用方式做对比分析，认为回热式汽轮机的节能效果优于外置式蒸汽冷却器；段立强等[7]进一步对集成式回热汽轮机系统的不同形式做出对比分析；Sven jaer 等对双机回热系统汽轮机组的主要运行参数进行了初步计算，结果表明采用回热式小汽轮机系统能够有效降低抽汽过热度，提高机组的热经济性[8]。蔡小燕等[9]基于火用分析指标，对比了采用双机回热系统的700℃二次再热1000MW 机组和常规机组的热经济指标，双机回热系统机组的全厂火用效率高达46.37%。阚伟民等[10]发现在机组低负荷运行时，双机回热系统发电效率比常规机组提升更多，发电煤耗下降幅度更大，双机回热系统的超超临界机组变负荷特性良好。可见，双机回热系统在降低回热抽汽过热度，减少不可逆损失，有效提升机组循环热效率的经济效益上具有良好的效果和显著优势。

因此，本文在某1000MW超超临界二次再热机组典型热力系统的基础上，以回热小汽轮机为研究对象，提出一种带BEST小机的双机，并将其与双机回热系统进行热力、经济性能对比，为带BEST小机系统的优化和应用提供理论基础和数据支撑。

作者简介：梁岩（1979.02-），男，汉族，山东高唐人，研究生，高级工程师，研究方向：发电厂节能提效，热力系统优化。

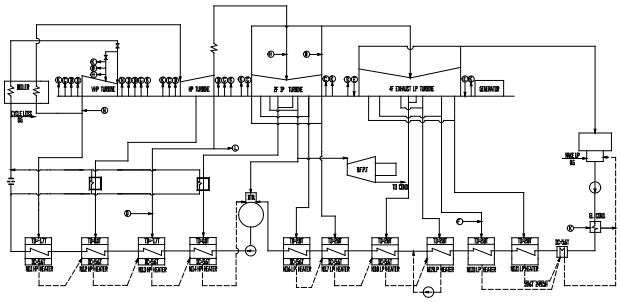
一、机组简介

本文选取某典型1000MW超超临界机组作为案例机组，其锅炉为超超临界变压直流锅炉、单炉膛，汽轮机为N1000-31.5/600/615/615型、汽轮机型式为超超临界、二次中间再热、单轴、五缸四排汽、十一级回热抽汽、反动凝汽式，其主要性能参数如表1所示。

表1 热力系统主要参数

参数	数值
发电功率 /MW	1000
主汽口前蒸汽压为 /MPa	31.5
主蒸汽进汽量 /(t/h)	2559
一次再热后蒸汽压为 /MPa	10.6
一次再热后蒸汽温度 /℃	620
二次再热后蒸汽压力 /MPa	3.374
二次再热后蒸汽温度 /℃	620
额定背压 /MPa	0.004
给水温度 /℃	330.7

图1为该机组典型的二次再热机组的热力系统图，采用11级回热抽汽，4个高压加热器、1个除氧器和6个低压加热器，抽汽依次来自超高压缸、高压缸、中压缸和低压缸，并配置了2个外置式蒸汽冷却器。



> 图1 11级回热二次再热热力机组

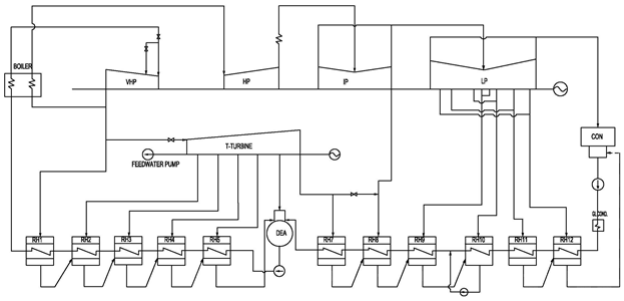
表1中可以看出，二次再热机组主蒸汽温度和再热蒸汽温度高达600℃以上，导回热抽汽系统的抽汽过热度高。高温抽汽加热给水时，回热加热器内汽侧和水侧换热不可逆损失增加，熵增变大，削弱了蒸汽参数升高带来的收益，进而影响了整个机组的循环效率。

因此，降低回热抽汽系统中的抽汽过热度，减少系统热损失，合理利用系统能量，优化传统二次再热系统，提高机组经济性有很重要的意义。

二、BEST双机回热系统

为了解决中压缸抽汽过热度偏高的问题，获得更好的热力学性能，考虑采取增设回热式汽轮机的方式。图2为双机回热系统的热力系统图。相比于常规二次再热系统，双机回热系统取消了高压缸抽汽接口，增设回热式汽轮机系统。回热式小汽轮机上设有多级抽汽口，抽汽压力逐级降低。回热式小汽轮机系统的抽汽按照压力等级由高到低依次进入各级高压加热器，排汽流入除氧器；超高压缸排汽分流为三部分，一部分进入首级高压加热器加热给水，一部分进入锅炉再热器进行再热，另一部分作为回热小汽轮机汽源。小汽轮机入口常设有进汽调阀，以便在机组变负荷运行时，可通过调节进汽阀门开度，实现进汽节流，以匹配变工况下的给水泵功率需求，维持锅炉汽水流量平衡，保障机组安全稳定运行。

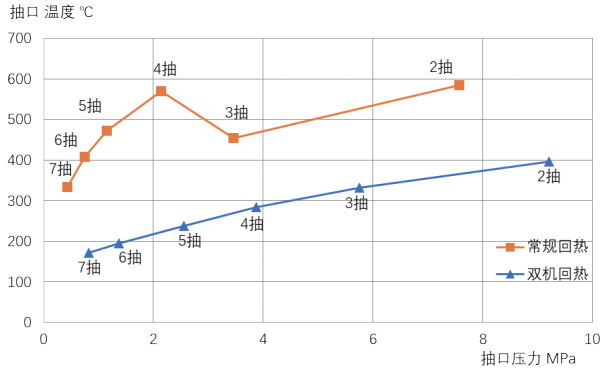
从图2中可以看出，双机回热系统为12级回热，比常规的二次再热系统增加了一级抽汽，同时增设了一个回热式汽轮机。超高压缸排汽作为回热式汽轮机将作的汽源，回热式汽轮机的抽汽供给#2 ~ #6加热器，排汽至7号低加。回热式汽轮机驱动给水泵并带小发电机。高压、中压缸不再增设抽汽口进行抽汽。



> 图2 BEST小汽轮机（带功率平衡发电机）系统原理图

三、性能比较

图3中给出了常规二次再热系统和双机回热系统回热抽汽系统的抽汽温度。从图3中可以看出，双机回热系统的抽汽温度比同等参数下常规二次再热系统的抽汽温度下降约200℃；尤其是二次再热之后的抽汽温度下降300℃。这说明，回热式小汽轮机的设置极大地降低了二次再热过程后抽汽的过热度、抽汽管道及附属的阀门的温度，进而降低了相关部件的材料等级，节约了机组的投资成本；同时可以减小高压加热器的热应力，提高设备使用寿命。

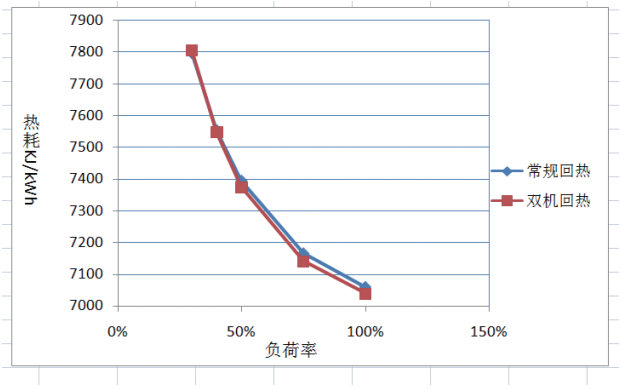


> 图3 双机回热系统与常规系统回热抽汽参数对比

1000MW常规超超临界二次再热系统、超超临界双机回热系统的热力性能参数比较，如表3所示。常规二次再热系统和双机回热系统热耗不同负荷下热耗曲线对比如图4所示。

表3 热力系统主要参数

名　称	常规二次再热系统	双机回热系统	变化
小汽机替代回热级数	--	5抽1排	
给水温度	330.7	326.6	
主蒸汽流量 t/h	2559	2717	+6.17%
一次再热压力 MPa	10.6	11.667	
一次再热流量 t/h	2274	1777.73	-21.8%
二次再热压力 MPa	3.374	2.991	
二次再热流量 t/h	1958.7	1787.45	-8.7%
回热小汽机进汽量 t/h		703	
回热小汽机背压	-	0.9	
主电机功率	1000	1000	
小电机功率	-	15	
THA工况热耗 kJ/kWh	6962.2	6932.2	-30
75%THA工况热耗 kJ/kWh	7058.2	7033.2	-25
50%THA工况热耗 kJ/kWh	7287.2	7267.2	-20
40%THA工况热耗	7446.2	7440.2	-6
30%THA工况热耗	7689.2	7697.2	+8
发电煤耗 g/kWh	248.51	247.42	1.1



> 图4 常规系统与双机回热系统热耗对比曲线

从表3和图4中可以看出，双机回热系统较常规二次再热系统主蒸汽流量增加6.17%，一次再热蒸汽流量和二次再热蒸汽流量均大幅降低，分别降低了21.8%和8.7%。在THA工况至50%THA工况区间内，双机回热系统机组热耗低于常规二次再热系统，THA工况热耗由6962.2kJ/kWh降低到6932.2kJ/kWh，降低了30kJ/kWh，75%THA工况下，热耗降低了25 kJ/kWh；50%THA工况下，热耗降低了20 kJ/kWh。随着出力的降低，两种系统热耗的差距逐步缩小。40%THA工况下，两种回热系统经济性相当；在30%THA工况下，常规回热系统热力性能优于双机回热系统。

总体而言，回热式汽轮机系统可以作为提高二次再热机组的热效率的有效手段，双机回热系统总功率增大约1.5%；一次再热蒸汽流量减少21.8%，二次再热蒸汽流量减少约8.7%，100%工况下，热耗降低30kJ/kWh，发电煤耗降低1.1g/kWh。同时，回热式驱动小汽轮机的出力在满足驱动给水泵外可以提供机组一部分厂用电，减少厂用电增加了机组的经济效益。

四、结论

本文针对常规超超临界二次再热机组，提出采用回热式汽轮机的方式降低回热系统抽汽过热率，比较了常规超超临界二次再热系统和双机回热系统，结果如下：

1）在100% THA设计工况下，双机回热系统系的中缸抽汽过热度远低于常规二次再热系统，汽轮机热耗比常规二次再热系统热耗约低30kJ/kWh；发电煤耗比常规二次再热系统低1.1g/kWh。

2）双机回热系统与常规二次再热系统相比，回热系统抽汽温度降低约200℃，二次再热抽汽后抽汽的温度降低约300℃，降低抽汽系统过热度效果显著。

3）变工况情况下，双机回热系统汽轮机热耗和常规二次再热系统热耗的差距随负荷率的降低而缩小，在100%THA至50%THA负荷率区间，双机回热系统汽轮机热耗低于常规二次再热系统；在50%THA至30%THA负荷率区间，双机回热系统热耗逐步高于常规二次再热系统。

参考文献

[1] 阎维平. 超临界蒸汽参数发电技术发展评述［J］. 电力科学与工程，2014,30(1):1-7.

[2] 李华杰，马丽梅. 近年来我国能源投资发展分析［J］. 中外能源，2018,23(1):3-13.

[3] Yang Yongping, Guo Xiyan, Wang Ningling. Power generation from pulverized coal in China［J］.Energy, 2010,35 (11):4336- 4348.

[4] 李建刚，李丽萍，阮涛，等. 二次再热超临界机组热力系统热经济性计算模型的研究［J］. 汽轮机技术，2005(6).

[5] 刘颖华，郜宁，周璐瑶，等. 超超临界机组回热抽汽过热度的优化利用［J］. 电站系统工程，2015,031(004):16-18,25.

[6] 段立强，孙婧. 集成回热式汽轮机的超超临界二次再热机组设计优化［J］. 华北电力大学学报(自然科学版)，2019, 46(003):80-89.

[7] 乔加飞，张磊，刘颖华，等. 二次再热机组双机回热系统热力性能分析［J］. 热力发电，2017(8).

[8] Ploumen P, Stienstra G, Kamphuis H. Reduction of CO2 emissions of coal fired power plants by optimizing steam water cycle［J］. Energy Procedia, 2011, (4): 2074 ~ 2081.

[9] 蔡小燕，张燕平，李钰等. 700 ℃超超临界燃煤发电机组热力系统设计及烟分析［J］. 动力工程学报，2012,32(12):971-978.

[10] 阚伟民，宋景慧，周璐瑶等. 超超临界机组采用 MC 系统的变工况性能研究［J］. 热力发电，2014 ,43(07):41-44.

超高压输电线路电磁环境影响评估与优化措施

俱永森，冯燕军，曹喆
国网甘肃省电力公司经济技术研究院，甘肃 兰州 730000

摘　　要： 超高压输电技术广泛应用后，电磁辐射对环境和人类健康的影响成重要研究课题。文中分析超高压输电线路电磁场特征，评估对环境及人体健康潜在影响，经典型线路电磁场计算确定辐射影响范围，探讨对居民生活及电子设备的干扰。基于评估结果提出线路设计优化、电磁屏蔽等系列优化措施减轻负面影响，保障电力系统安全绿色运行，还结合研究与实践指出未来研究方向。

关 键 词： 超高压输电线路；电磁辐射；电磁环境

Electromagnetic environmental impact assessment and optimization measures of ultra-high voltage transmission lines

Ju Yongsen, Feng Yanjun, Cao Zhe
Economic and Technological Research Institute, State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract: Since the extensive application of ultra-high voltage power transmission technology, the impact of electromagnetic radiation on the environment and human health has gradually become an important research topic. This article analyzes the electromagnetic field characteristics of ultra-high voltage transmission lines, further evaluates the potential impacts on the environment and human health. Through the calculation of the electromagnetic fields of typical transmission lines, the influence range of electromagnetic radiation is determined, and the interference of the electromagnetic environment on the lives of residents and surrounding electronic equipment is discussed. Based on the evaluation results, a series of optimization measures such as transmission line design optimization, electromagnetic shielding technology, power system operation optimization and policy and regulation support are proposed to reduce the negative impacts of electromagnetic radiation and ensure the safe and green operation of the power system. Combined with current research and practice, the future research directions are also pointed out.

Keywords: ultra-high voltage transmission lines; electromagnetic radiation; electromagnetic environment

引言

超高压输电线路（UHV）由于其输电容量大、远距离传输能力强、有效降低电力损耗，在全球范围内得到了广泛应用。随着超高压电力传输系统规模的逐步扩大，电磁辐射对环境和人类健康的潜在影响也引发了社会广泛关注。电磁辐射不仅可能对居民的生活环境产生影响，还对输电线路周围的电子设备造成干扰，进而影响其正常运行。评估超高压输电线路的电磁环境影响并提出相应的优化措施成为当前研究的重要课题[1]。

一、超高压输电线路电磁场特征

电场与磁场分布：电场与磁场的分布具有一定的规律性。根据物理学原理，电磁场会随着距离的增加而呈指数衰减。具体来说，电场的强度与距离的平方成反比，意味着离电源越远，电场的强度就越小。而磁场的衰减则更为复杂，通常随着距离增加而呈现指数级衰减，且受多种因素影响，如电流波动、输电线路架设方式等[2]。

在超高压输电线路的直流系统中，由于电流方向保持不变，电场的分布通常较为平稳，影响范围相对较小。但在交流输电系统中，电流的周期性变化，产生的磁场具有方向变化，还会随时间波动，对周围环境的影响较为显著。交流电磁场导致附近设备的电磁干扰，影响通信信号传输、精密仪器的正常工作，甚至对人体健康造成潜在风险。

输电线路的架设高度、走向及环境地形等都会影响电磁场的分布。一般来说，架设高度较低的线路会使电磁辐射更集中，造成较大的局部影响；而在山区或城市等复杂地形中，电磁场的传播范围会受到山体、建筑物等障碍物的影响，导致电磁场分布不均，进一步增加评估和防护的难度。

电磁场强度的评估标准：为了避免电磁场对人体和周围环境

产生不利影响，国际上已经制定了相关的电磁辐射评估标准。国际非电离辐射防护委员会（ICNIRP）发布的《电磁场暴露限值》对各类电磁场暴露的安全限值进行了明确规定。ICNIRP建议，长期暴露在电磁场强度超过一定限值的环境中，会对人体健康产生不利影响，需要对电磁场强度进行严格监测和管理[3]。

在国内，针对超高压输电线路的电磁辐射，国家相关部门也制定了相应的标准和技术规程。比如，《电力设施电磁环境防护技术规程》明确规定了电磁场辐射的强度限值及评估指标。这些标准和规定为电力设施的设计、建设和运行提供了明确的指导，确保了电力系统在保障安全和高效运行的同时，减少了对环境和公众健康的潜在威胁。

电磁场的强度和影响评估是一个多因素、多层次的过程。评估标准考虑了电磁场的强度，还要分析电磁波的频率、暴露时间及暴露环境等因素。在高密度人口区或工业区附近，需要采取更严格的标准，防止电磁辐射对居民生活、工业生产或通信设施造成影响。随着电力系统的不断发展，评估标准和技术要求也会随着新的研究成果的不断推出而不断更新和完善。

二、电磁环境影响评估

（一）影响范围的确定

超高压输电线路的电磁辐射强度是一个随着距离变化而衰减的过程。对典型超高压输电线路的电磁场分布进行计算，确定电磁辐射的影响范围。以下是基于中国“特高压”输电线路的电场和磁场分布特征的评估：

电场分布：对于直流输电系统（如1000kV直流输电系统），电场的分布相对稳定，随着距离的增加，电场强度呈指数级衰减。在距线路数百米的地方，电场强度通常会低于安全标准。这是因为直流电场变化较小，电场的持续作用不如交流系统明显，对远距离区域的影响相对较小[4]。

磁场分布：交流输电系统（如1000kV交流输电系统）则表现出不同的电磁场特性。由于交流电流的方向周期性变化，导致磁场会随电流波动而变化。这种变化使得磁场的影响范围较广，且在较远的距离内，磁场的强度仍高于安全标准。特别是在人们长期暴露的区域，即便距离输电线路较远，交流系统产生的磁场效应仍然会影响到周围环境，甚至对周围电子设备造成干扰。

影响范围：根据相关研究和计算模型，超高压输电线路电磁辐射的影响范围通常与电压等级、输电线路的架设高度、线路的电流波动以及周围地形等因素密切相关。对于1000kV的直流系统，影响范围通常在500米以内，而对于交流系统，这一范围会扩大至几千米。进一步的研究和监测可以精确确定特定地区的电磁辐射强度和影响范围，在居住区、工业区等密集区域周围[5]。

（二）电磁环境对人体健康的影响

长时间暴露于较强的电磁场环境中，对人体健康产生一系列不良影响。当前的研究重点集中在电磁辐射与某些健康问题之间的关联，在长时间暴露于强电磁场的环境下，对人体产生的负面效应。以下是电磁环境对人体健康的主要潜在影响：

电子设备干扰：对于佩戴心脏起搏器、听力辅助器等电子设备的患者来说，超高压输电线路产生的电磁场可能对这些设备产生干扰，导致设备无法正常工作，进而影响患者的生命安全。电磁场的强度和频率必须严格控制，确保这些电子设备的正常运行[6]。

癌症风险：部分流行病学研究表明，长期暴露于较强的电磁场中，增加某些癌症的风险，特别是白血病和脑肿瘤等类型的癌症。至今尚未有明确的科学证据表明电磁辐射与癌症之间存在直接的因果关系。尽管如此，电磁辐射与人体健康之间的潜在关系依然是公共健康领域的研究重点。世界卫生组织（WHO）等相关机构也对长期暴露在电磁场中的健康影响进行了大量的研究，得出的结论是电磁辐射的影响与暴露强度、暴露时间以及个体的敏感性密切相关。

神经系统及其他影响：一些研究还表明，长期暴露在电磁场中可能对神经系统产生影响，如头痛、失眠、焦虑等症状。这些症状在不同人群中有不同表现，但电磁辐射是否与这些症状之间存在直接联系仍需进一步研究。

电磁环境对人体健康的影响尚无统一结论，但可以明确的是，长时间高强度的电磁场暴露对人体可能产生一定的健康风险。在设计和建设超高压输电线路时，加强对电磁环境的监测，采取有效的防护措施，减少对居民和工作人员的影响。

（三）对周围设备的影响

超高压输电线路产生的电磁辐射会影响人体健康，还对周围的电子设备、通信设备以及精密仪器造成干扰。具体影响表现如下：

通信设备的干扰：电磁辐射对电力设施附近的通信信号可能产生较大影响。特别是对于高频通信设备（如无线通信、卫星通信等），电磁干扰导致信息传输错误或信号丢失，影响数据的准确性和实时性。在电力传输线路附近的通信基站，因电磁辐射的干扰导致通信质量下降，影响远程控制和调度系统的正常运行。

精密仪器的干扰：电磁干扰影响通信设备，也对周围的精密仪器产生影响。在医疗设备（如核磁共振、X射线设备等）和科研仪器（如粒子加速器、电子显微镜等）的运行过程中，电磁辐射干扰设备的正常功能，造成测量误差或设备故障。特别是在输电线路附近的实验室或医院等特殊场所，电磁环境的影响需要特别关注[7]。

工业控制系统的干扰：在电力设施附近，工业自动化系统和控制系统会受到电磁干扰，导致设备误操作或故障。电磁辐射对PLC（可编程逻辑控制器）或DCS（分布式控制系统）等工业控制系统产生影响，进而导致设备停机、生产中断或安全事故。

三、优化措施

（一）线路设计与布局优化

输电线路的设计和布局在电磁辐射的控制中起到至关重要的作用。通过合理的规划，可以有效减少电磁场对周围环境的影响。具体优化措施包括：

线路路径选择：选定输电线路的路径时，尽量避开人口密集区、城市区域和重要设施。将输电线路建设在偏远地区、山区或荒无人烟的区域，避免不必要的电磁辐射暴露。远离居民区的选择还可以减少电磁辐射对生态环境的影响，避免对动植物栖息地造成干扰。

架设高度调整：电磁场的强度与输电线路的架设高度密切相关。提高输电线路的架设高度有效降低地面及周围区域的电场和磁场强度。设计合理的架设高度，可以降低电磁辐射的直接影响，还为线路维护提供便利。

地下输电：虽然地下输电技术相对成本较高，但对于特定区域（如城市中心、居民区或历史遗址附近），地下电力传输可有效避免电磁辐射的外泄。地下输电还减少输电线路受天气、自然灾害影响的风险，提升电力系统的稳定性。

这些线路设计与布局的优化，最大程度地减少电磁场对环境和居民生活区的影响，实现更为环保和可持续的电力输送[8]。

（二）电磁屏蔽技术

电磁屏蔽技术是减少电磁辐射对外界环境影响的重要手段。有效的屏蔽，抑制电磁波的外泄，保护周围设施免受干扰。具体措施包括：

屏蔽网的使用：在输电线路重要设施周围，在人流密集的区域、医院、学校等场所，安装电磁屏蔽网。这些屏蔽网有效地阻挡电磁波的传播，减少电磁辐射的外泄。

低辐射材料的应用：在输电线路的建设过程中，选用低辐射材料和导电性能较好的材料，减少电磁辐射的生成。采用高导电性、低电阻的电缆材料，或者在设备外壳和输电线路周围安装带有电磁屏蔽功能的涂层，有效减少电磁干扰。

电磁隔离保护：对于关键设备，如电力变电站的控制系统、通信设备、医疗设施等，采取电磁隔离措施。这通过设置专门的电磁屏蔽室或在关键部件上加装电磁防护装置来实现，确保这些设备免受电磁辐射干扰，避免设备故障或误操作。

电磁屏蔽技术的应用能够降低电磁辐射对周围环境和设备的影响，保障社会生活和生产活动的正常进行。

（三）优化电力系统运行模式

电力系统的运行模式直接影响输电线路产生的电磁辐射强度。对电力系统的合理调度和运行模式优化，有效减少不必要的电磁辐射。优化措施包括：

电压与电流调节：根据负荷需求和电力输送的实际情况，合理调节输电线路的电压和电流。过高的电压和电流会产生较强的电磁场，在满足电力需求的前提下，尽量避免过高的电流流过线路。调节电力负荷和负载均衡，降低电磁辐射的强度，还提升电力系统的稳定性和运行效率。

负载优化：在电力系统运行过程中，合理安排输电线路的负载，避免线路过载运行，避免过多电力被输送到特定区域。负载过大不仅会增加电磁辐射，还导致输电线路的损耗和设备的过热。通过合理调度电力负荷，减少电力线路的电磁波辐射是确保电力系统安全稳定运行的关键。

动态调度：通过智能化电力调度系统，实现电力流向的实时监控与动态调整。这不仅可以根据需求调配电力供应，还在电力需求较低时减少输电线路的负载，进而减小电磁辐射的强度。

通过优化电力系统的运行模式，可以提高电力输送效率，还有效减少电磁场对周围环境的影响，降低对人体健康和设备的潜在危害。

（四）政策法规支持

为了有效控制超高压输电线路的电磁环境影响，政府在政策制定和实施过程中起着至关重要的作用。具体措施包括：

电磁辐射标准的制定：政府根据科学研究和国际标准，制定严格的电磁辐射限值和相关安全标准。建立完善的电磁环境保护法规，确保超高压输电线路的电磁场强度不会超过安全限值。这有助于保护居民的身体健康，也为电力设施的安全运行提供了法律依据。

电磁环境监测与管理：加强对超高压输电线路电磁环境的监测，及时评估电磁辐射对周围环境的影响。政府应定期开展电磁环境监测，特别是在敏感区域和居民区附近，确保电磁辐射强度符合安全标准。如果发现超过限值的情况，应及时采取整改措施，确保电力设施对环境和社会的影响降到最低。

科研支持与技术创新：政府应鼓励和支持科研机构、高校、企业等单位开展电磁环境防护技术的研究与应用。资金支持和政策引导，推动电力设施的绿色发展，提升电力系统的环境友好性和可持续性。例资助研究新型低辐射材料、新的电磁屏蔽技术等，以促进电力行业在环保方面的创新[9]。

公众意识提升与教育：加强公众对电磁环境保护的认知和意识，开展科普宣传活动，提高居民和企业对电磁辐射潜在风险的认识，倡导采取必要的防护措施。

四、结论

随着超高压输电线路的建设和使用逐步增加，产生的电磁环境对社会、环境及人体健康的影响不容忽视。本文对超高压输电线路电磁环境的评估，指出了其对人体健康、周围设备及环境的潜在影响，提出了优化设计、合理布局、电磁屏蔽及政策支持等措施，为未来电力系统的建设提供参考，以实现电力传输的安全性、可靠性和环保性[10]。

参考文献

[1] 张启. 特高压交流输电线路电磁环境安全评估的实验测量研究［D］. 兰州交通大学，2019.DOI:10.27205/d.cnki.gltec.2019.000351.

[2] 陈侃. 高压交流架空输电线路电磁环境特性及对电磁环境保护目标的环评重点［J］. 皮革制作与环保科技，2020,1(Z2):87-91.

[3] 叶艳峰. 特高压交流输电线路电磁暴露安全评估研究［D］. 兰州交通大学，2018.

[4] 李晨晖. 多回同走廊750千伏高压输电线路电磁环境影响调查与分析研究［D］. 兰州理工大学，2019.

[5] 刘丽娜，陶加祥，张业茂等. 特高压交流示范工程输电线路电磁环境实测分析［J］. 中国电力，2017,50(10):46-51.

[6] 万保权，史兴华，冯华等. 平行架设的特高压交流输电线路电磁环境特性研究［J］. 浙江电力，2022,41(01):102-109.DOI:10.19585/j.zjdl.202201014.

[7] 徐峥. 输电线路环境敏感点工频电磁场影响减缓模型研究［D］. 北京交通大学，2019.DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2019.000513.

[8] 燕飞霏，赵洪峰，郝博可. 特高压输电系统电磁环境研究综述［J］. 电子制作，2019,No.383(19):51-54.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2019.19.018.

[9] 陈晓琳. 110kV新建输电线路并行时电磁环境影响预测研究［J］. 能源与环境，2017,No.141(02):23-24.

[10] 何应东，章涛，连勇等. 500 k V交流并行架设输电线路电磁环境叠加影响分析［J］. 电力科技与环保，2018,34(05):5-8.

智能电网中分布式电源的优化接入与控制策略

李全成

中交华中投资有限公司，湖北 武汉 430056

摘　　要： 智能电网中的分布式电源是指位于用户附近，其所发电能就地利用，以10kV及其以下电压等级接入电网的电源装置。一般这些电源装置多为小型模块式，其功率范围在数千瓦至50MW之间，并且由电力部门、电力用户或第三方所有，主要用以满足电力系统和用户特定的要求，如调峰、为边远用户或商业区和居民区供电等。随着能源需求的不断增长和环境问题的日益严峻，如今分布式电源在智能电网中的应用越来越受到关注。为此本文详细地探讨了智能电网中分布式电源的优化接入与控制策略。

关 键 词： 智能电网；分布式电源；优化接入；控制

Optimal access and control strategy of distributed power sources in smart grids

Li Quancheng

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

Abstract: Distributed energy resources in smart grids refer to power generation facilities located near users, whose generated power is used locally and connected to the grid at voltages of 10 kV or lower. These facilities are typically small modular units with power ranges ranging from several kilowatts to 50 MW, owned by power authorities, power users, or third parties, and are mainly used to meet specific requirements of the power system and users, such as load leveling, power supply to remote users or commercial and residential areas, etc. With the growing energy demand and the increasingly serious environmental problems, the application of distributed energy resources in smart grids is becoming increasingly important. Therefore, this paper provides a detailed discussion on the optimal integration and control strategies for distributed energy resources in smart grids.

Keywords: smart grid; distributed power sources; optimal integration; control

引言

全球能源危机和环境问题的不断加剧，使得传统的集中式供电模式面临着越来越大的挑战。而分布式电源作为一种新型的能源供应方式，由于其具有清洁、高效、灵活等优点，所以在智能电网中的应用越来越广泛。实践中研究分布式电源的优化接入与控制策略，对于相关人员提高智能电网的可靠性、稳定性和经济性具有重要意义。本文首先介绍了分布式电源的概念、类型和特点，然后以此为基础分析了分布式电源接入智能电网对电网的影响。接着再从优化接入规划、功率控制、电压控制和频率控制等方面阐述了分布式电源的优化接入与控制策略。最后通过实际案例分析了这些策略的应用效果，并对未来的研究方向进行了展望。

一、分布式电源的概念、类型和特点

分布式电源的优化接入与控制策略是智能电网发展的重要研究方向之一。相关人员通过不断深入研究和实践，将能为实现智能电网的可持续发展提供有力的支持。

（一）概念

分布式电源是指直接布置在用户附近或配电网中的小型发电装置，其通常容量较小，一般在数千瓦至数十兆瓦之间。而分布式电源可以独立运行，同时也可以与电网并联运行，为用户提供电力供应[1]。

（二）类型

1.可再生能源分布式电源

（1）太阳能光伏发电：该发电方法主要利用太阳能电池将太阳能转化为电能，其具有清洁、无污染、可再生等优点。

（2）风力发电：该发电方法利用风力带动风机旋转，以将风能转化为电能，其具有可再生、环保等优点。

（3）生物质能发电：该发电方法利用生物质能如农作物秸秆、木材废料等作为燃料，然后通过燃烧或气化等方式产生电

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

能，其具有可再生、资源丰富等优点。

（4）小水电：该发电方法利用河流、溪流等水资源的落差进行发电，去哦具有清洁、可再生等优点。

2.非可再生能源分布式电源

（1）微型燃气轮机：该发电方法以天然气、液化气等为燃料，借助通过燃烧产生高温高压气体，以驱动涡轮机旋转发电，其具有效率高、启动快等优点。

（2）柴油发电机组：该发电方法以柴油为燃料，借助内燃机驱动发电机发电，其具有可靠性高、启动快等优点[2]。

（三）特点

1.靠近负荷中心：分布式电源通常布置在用户附近或配电网中，因此其减少了电能的传输损耗，且提高了能源利用效率。

2.容量较小：分布式电源的容量一般较小，其通常在数千瓦至数十兆瓦之间，所以不会对电网造成过大的冲击。

3.灵活多样：分布式电源的类型多样，相关人员可以根据不同的能源资源和用户需求进行选择和配置。

4.环保节能：分布式电源中的可再生能源分布式电源具有清洁、无污染、可再生等优点，其符合可持续发展的要求。

二、分布式电源接入智能电网对电网的影响

（一）对电网潮流的影响

分布式电源接入智能电网后会改变电网的潮流分布。原因在于，分布式电源的输出功率具有随机性和波动性，因此会导致电网中的潮流方向和大小发生变化，进而增加了电网的复杂性和不确定性。

（二）对电网电压的影响

当分布式电源的输出功率较大时，其会导致电网中的电压升高；而当分布式电源的输出功率较小时，则会导致电网中的电压降低。此外分布式电源的接入位置和容量也会对电网的电压产生影响。总之，分布式电源的接入均会对电网的电压产生影响[3]。

（三）对电网频率的影响

在分布式电源的输出功率与负荷需求不匹配时，即可导致电网中的频率发生变化。具体来说，如果分布式电源的输出功率大于负荷需求，就会导致电网中的频率升高。但如果分布式电源的输出功率小于负荷需求，则会导致电网中的频率降低。

（四）对电网可靠性的影响

当电网发生故障时，分布式电源依然可以继续为用户提供电力供应，因此其可减少停电时间和范围。另外分布式电源的接入还可以提高电网的抗干扰能力和自愈能力。

三、分布式电源的优化接入规划

（一）接入位置的选择

分布式电源的接入位置应根据电网的结构、负荷分布、能源资源等因素进行选择。一般来说，分布式电源应接入靠近负荷中心的位置，目的是减少电能的传输损耗。同时分布式电源的接入位置还应考虑到电网的电压稳定性和可靠性等因素。

（二）接入容量的确定

分布式电源的接入容量应根据电网的负荷需求、能源资源、分布式电源的类型和性能等因素进行确定。通常分布式电源的接入容量应在电网的承受范围内，如此才可避免对电网造成过大的冲击。另外分布式电源的接入容量还应考虑电网的电压稳定性和可靠性等因素[4]。

（三）接入方式的选择

分布式电源的接入方式有多种，如直接接入、通过变压器接入、通过逆变器接入等。由于不同的接入方式对电网的影响不同，所以相关人员应根据分布式电源的类型和性能、电网的结构和要求等因素进行选择。

四、分布式电源的功率控制策略

（一）恒功率控制

恒功率控制是指分布式电源输出的功率保持恒定。该控制策略适用于分布式电源的输出功率比较稳定的情况，如太阳能光伏发电和风力发电等。而对于恒功率控制，则可以通过调节分布式电源的输出电压和电流来实现[5]。

（二）最大功率跟踪控制

最大功率跟踪控制是指分布式电源输出的功率始终保持在最大功率点，其适用于分布式电源的输出功率具有随机性和波动性的情况，如太阳能光伏发电和风力发电等。而最大功率跟踪控制可以借助调节分布式电源的输出电压和电流来实现，从而使分布式电源始终工作在最大功率点附近。

（三）有功功率和无功功率协调控制

有功功率和无功功率协调控制是指分布式电源同时控制输出的有功功率和无功功率，其能提高电网的电压稳定性和功率因数，与减少电网的损耗[6]。而有功功率和无功功率协调控制可通过调节分布式电源的输出电压和电流的相位和幅值来实现。

五、分布式电源的电压控制策略

（一）分布式电源自身的电压控制

分布式电源可以通过调节自身的输出电压来控制电网的电压。例如太阳能光伏发电和风力发电等分布式电源，可经过调节逆变器的输出电压以控制电网的电压。

（二）分布式电源与电网之间的无功补偿

分布式电源能通过与电网之间的无功补偿来控制电网的电压。比如分布式电源可以通过安装无功补偿装置，如电容器、电抗器等，来调节电网的无功功率，从而控制电网的电压[7]。

（三）分布式电源与电网之间的协调控制

分布式电源可以与电网之间进行协调控制，从而共同控制电网的电压。如分布式电源可与电网中的调压设备，如变压器、调压器等，进行协调控制，进而共同调节电网的电压。即分布式电源与电网之间的协调控制可以提高电网的电压稳定性和可靠性。

六、分布式电源的频率控制策略

（一）分布式电源自身的频率控制

分布式电源可调节自身的输出功率，以此控制电网的频率。具体来说，当电网的频率下降时，分布式电源则可以增加输出功率，以提高电网的频率。而当电网的频率上升时，分布式电源可以减少输出功率，进而降低电网的频率。

（二）分布式电源与电网之间的协调控制

分布式电源与电网之间的协调控制，可达到共同控制电网频率的目的，进而提高电网的频率稳定性和可靠性。例如分布式电源可以与电网中的调频设备，如发电机组、储能装置等，进行协调控制，进而共同调节电网的频率[8]。

七、实际案例分析

（一）案例背景

某地区智能电网中接入了大量的分布式电源，其中包括太阳能光伏发电、风力发电和微型燃气轮机等。而这些分布式电源的接入对电网的潮流、电压、频率等产生了一定的影响，因此需要采取有效的优化接入与控制策略来提高电网的可靠性、稳定性和经济性[9]。

（二）优化接入与控制策略的应用

1.优化接入规划

项目人员根据电网的结构、负荷分布和能源资源等因素，选择了合适的分布式电源接入位置和接入容量。并且还选择了合适的接入方式，如通过逆变器接入和通过变压器接入等。

2.功率控制策略

（1）对于太阳能光伏发电和风力发电等分布式电源，项目人员采用了最大功率跟踪控制策略，从而使分布式电源始终工作在最大功率点附近，以此提高了能源利用效率。

（2）微型燃气轮机等分布式电源采用了恒功率控制策略，因而能使分布式电源输出的功率保持恒定，进而提高了电网的稳定性。

（3）对于有功功率和无功功率的协调控制，项目人员采用了调节分布式电源的输出电压和电流的相位和幅值的方法，有效地提高了电网的电压稳定性和功率因数，并减少了电网的损耗。

3.电压控制策略

（1）对于分布式电源自身的电压控制，项目人员采用了调节逆变器的输出电压的方法，以确保能快速地响应电网的电压变化，以及提高电网的电压稳定性[10]。

（2）分布式电源与电网之间的无功补偿当中，项目人员安装了无功补偿装置，如电容器、电抗器等，以调节电网的无功功率，与控制电网的电压。

（3）对于分布式电源与电网之间的协调控制而言，项目人员与电网中的调压设备进行了协调控制，以共同调节电网的电压，因此提高了电网的电压稳定性和可靠性。

4.频率控制策略

（1）分布式电源自身的频率控制主要采用了调节分布式电源的输出功率的方法，因此其可快速地响应电网的频率变化，有效地提高了电网的频率稳定性。

（2）对于分布式电源与电网之间的协调控制，将其与电网中的调频设备进行协调控制，所以能够共同调节电网的频率，进而提高了电网的频率稳定性和可靠性。

（三）应用效果分析

通过采取上述优化接入与控制策略，该地区智能电网的可靠性、稳定性和经济性得到了显著提高。

八、结语

分布式电源的优化接入与控制策略可以提高智能电网的可靠性、稳定性和经济性，其具有重要的理论和实际应用价值。本文详细探讨了智能电网中分布式电源的优化接入与控制策略。在分析分布式电源的概念、类型和特点，以及分布式电源接入智能电网对电网影响的基础上，提出了分布式电源的优化接入规划、功率控制、电压控制和频率控制等策略。同时通过实际案例分析，验证了这些策略的有效性和可行性。未来随着分布式电源技术的不断发展和智能电网的不断完善，相信分布式电源在智能电网中的应用前景将更加广阔。

参考文献

[1]王云会，郑强仁，郭淼，等. 分布式电源接入配电网的控制策略及消纳能力评估研究［J］. 电器与能效管理技术，2022,(04):83-87.DOI:10.16628/j.cnki.2095-8188.2022.04.014.

[2]路峰，熊涛，李锦锦. 基于多智能体系统的分布式电源配电网保护方案优化策略［J］. 自动化与仪器仪表，2023,(08):174-177.DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2023.08.174.

[3]黄国明，杨兴波，林贺祺. 含分布式电源的直流微电网中的电力质量优化与协同控制算法研究［J］. 通信电源技术，2024,41(04):116-118.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2024.04.037.

[4]张文龙，王超，刘琦，等. 分布式能源接入智慧配电网的功率控制与优化策略［J］. 模具制造，2024,24(05):219-221.DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2024.05.070.

[5]高聪哲，黄文焘，余墨多，等. 基于智能软开关的主动配电网电压模型预测控制优化方法［J］. 电工技术学报，2022,37(13):3263-3274.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.210858.

[6]袁增. 基于智能算法的分布式电源接入配电网优化配置研究［D］. 上海市：上海电机学院，2022.DOI:10.27818/d.cnki.gshdj.2022.000024.

[7]王镇烁. 分布式光伏电源接入配电网的设计方案与优化［J］. 中国高新科技，2022,(18):65-67.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.18.21.

[8]董新伟，裴晨晨，邓薇，等. 含新能源接入的配电网中分布式储能系统控制策略［J］. 电力建设，2021,42(05):81-89.DOI:10.12204/j.issn.1000-7229.2021.05.009.

[9]史可鉴，代子阔，王刚，等. 考虑分布式电源接入与综合运行成本的配电网无功优化［J］. 辽宁工程技术大学学报（自然科学版）,2023,(03):339-344.DOI:10.11956/j.issn.1008-0562.2023.03.011.

[10]邓昱，赵剑. 智能配网中分布式电源的控制与保护技术研究［J］. 通信电源技术，2022,39(24):31-33.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2022.24.011.

变频串联谐振耐压技术在供配电系统中的应用

刘奉军，陈文胜
上海宝冶集团有限公司，上海 201900

摘　　要： 自电力工业快速发展以来，供配电系统的稳定与安全运行一直是电力行业关注重点。随着技术的进步和电网规模的扩大，对供配电系统的耐压测试提出更高要求，传统耐压测试方法已难以满足现代电网的需求，研究和应用新的耐压技术已势在必行。基于此，介绍 VFSR 系列变频串联谐振成套试验装置，并对实际使用中的问题进行分析处理，以期为供配电系统的耐压测试提供新的思路和方法。

关 键 词： 串联谐振耐压技术；设备容量计算；电抗器匹配；交流耐压试验

Application of variable frequency series resonance withstand voltage technology in power supply and distribution system

Liu Fengjun, Chen Wensheng
Shanghai Baoye Group CORP.,LTD. Shanghai 201900

Abstract: Since the rapid development of the power industry, the stable and safe operation of the power supply and distribution system has been the focus of the power industry. With the advancement of technology and the expansion of the power grid, higher requirements are put forward for the withstand voltage test of the power supply and distribution system. Traditional withstand voltage test methods have been difficult to meet the needs of modern power grids. It is imperative to research and apply new withstand voltage technology. Based on this, this article introduces the VFSR series variable frequency series resonance test equipment, and analyzes and deals with problems in actual use, aiming to provide new ideas and methods for the withstand voltage test of the power supply and distribution system.

Keywords: series resonance withstand voltage technology; equipment capacity calculation; reactor matching; AC withstand voltage test

引言

2000年起国内诸多行业开始执行国际电工委员会 IEC60840标准，要求进行电缆主绝缘交流耐压试验。应宝钢能源部要求公司为确保宝钢“十一五”规划项目宝能变电所的中标，满足220kV 电压等级及以下的电气设备交流耐压需要，并根据当时国家标准 GB50150-1991预定修订的需要，瞄准国际上电力电缆耐压试验的前沿技术，根据宝钢宝能变初步设计，成立了课题小组，研究电力变频串联谐振耐压技术[1]。

一、VFSR 系列变频串联谐振成套试验装置

VFSR 系列变频串联谐振成套试验装置采用调频调压方式，可准确控制输出电压及频率，以便对电气设备测试。该装置通过串联谐振回路，利用较小的供电电源可完成等效于供电电源试验，缓解现场试验电源的容量不足问题。VFSR 装置由变频电源主机、激励变压器、电抗器、电容分压器、补偿电容器及测试附件等核心组件构成，各组件协同工作，保证试验顺利进行。装置采用先进测量技术，可对试验电压、电流、频率等参数测量，通过内置的自动化控制系统，VFSR 装置可实现试验过程的自动化控制，如自动调谐、自动升压、自动记录数据等功能，提高试验效率。

VFSR 系列装置装置具备过压、过流、零位启动、系统失谐（闪络）等多重保护功能，可保证试验过程中设备的安全。VFSR 系列装置主要用于对大容量、高电压的电气设备进行测试，如交联聚乙烯电缆（XPLE）、GIS、大型发电机组、电力变压器等。VFSR 系列装置还具备体积小、重量轻，便于现场使用等优势，装置采用先进的 IGBT 及驱动回路设计，输出波形失真度小。通过变频技术实现精确的电压和频率控制，降低了试验过程中的能耗，多重保护功能确保试验过程中设备的安全，降低了试验风险，自动化控制系统使得试验过程更加简单快捷，降低操作难度[2]。

二、变频串联谐振耐压技术的特点

通过调节变频控制器的输出频率，可使得谐振回路的电感与

被试品的电容相匹配，在较低的励磁电压下产生较高的试验电压。可满足不同电力设备对试验电压的需求，还使得试验过程高效。该技术还可根据被试品电容大小和试验要求，自动选择最佳谐振频率，提高试验准确性。传统工频试验变压器体积庞大、重量重，且大电流工作电源在现场不易取得，而变频串联谐振耐压试验装置采用串联谐振方式，减小试验装置体积及重量，便于携带使用。

该技术还可降低输入电源容量，减少能源消耗和试验成本。借助多级过流保护和过压保护等安全措施，可在试验过程中有效地保护被试品和试验设备安全。由于谐振回路本身具有良好的滤波作用，可减小电源波形中的谐波分量，从而输出良好的正弦波形，提高试验准确性。变频串联谐振耐压技术还可用于大容量、高电压的电容性试品的交接和预防性试验，如变压器、发电机组、GIS、电力电缆等，使得变频串联谐振耐压技术在电力设备测试领域广泛应用。

三、串联谐振耐压试验技术设备分析

（一）试验设备容量的选配

在选配试验设备容量前，要明确被试设备的电容量。如宝钢湛江宝能变电所，220/110kV 300MVA的变压器，使用变频串联谐振试验进行交流耐压，测得变压器高压绕组连同套管对地电容18.38pF。

国标GB50150-2016，《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》规定变压器试验频率为40HZ以上，由于变压器的铁芯是按工频50HZ制作的，实际耐压时试验频率需尽量接近50 Hz为宜。

根据串联谐振的条件 $X_L=Xc$ 即 $2\pi f*L=1/2\pi f*C$

从而得到谐振频率： $f=1/(2\pi\sqrt{LxCx})$

被试物的电容量是一定的，要选配的就是电抗器及励磁变和操作箱。根据以上公式，频率在50 Hz时的电感量为：

$L_{50}=1/4\pi^2 f^2*C=1/4\pi^2 50^2*18380*10^{-12}=552H$

为满足谐振频率的要求，所选电抗器的电感量宜在552H左右。由于试验用电抗器的电感量都是固定的，因此需利用已有的电抗器YDCK-66/55，116H共五台来进行计算。

$f=1/(2\pi\sqrt{LxCx})=1/(2\pi\sqrt{580*18380*10^{-12}})=48.8Hz$

另外，试验设备的容量必须满足试验的要求。在确定了试验电抗器的电感量后，根据公式 $f=1/(2\pi\sqrt{LxCx})$，可计算出试验频率，$I=2\pi f*C*U$ 可以得到试验电流。根据这个电流和试验电压来选择试验设备。

$I=\omega UC=2\pi*48.8*160*10^3*18380*10^{-12}=0.9A$

电抗器YDCK-66/55的电流为1.2A，计算得出0.9A满足设备要求。

钢厂宝能变电所12根日本进口220kV交联聚乙烯电缆（每根长度2km，截面630mm^2）的交流耐压试验，要求试验频率在30-300HZ，试验电压178kV。利用2台电抗器YDTK-3000/250，1台电感量48H，两台并联使用电感量24H，额定电流24A，理论计算频率为61.87Hz，试验电流19.1A，现场实际试验频率63.5HZ，试验电流19.8A，每根电缆的试验时间60min。选用的试验装置满足现场试验要求。

$f=1/(2\pi\sqrt{LxCx})=1/(2\pi\sqrt{24*2*0.138*10^{-6}})=61.87Hz$

$I=\omega UC=2\pi*61.87*178*10^3*2*0.138*10^{-6}=19.1A$

天然气110kV变电所有两台110/10kV变压器，出线开关到1号变压器一次侧电缆为YJLW03-Z64/110kV长度35米，截面400mm^2，到2号变压器一次侧电缆长度45米，截面400mm^2。需要对电缆进行耐压试验，试验电压128kV，试验时间60min。按1号变压器电缆计算试验频率和试验电流，110kV 400mm^{2}电缆的电容量为0.156μF/km，设备为3000/250kV，48H电抗器2台，根据公式 $f=1/(2\pi\sqrt{LxCx})$ 用一台电抗器时计算试验频率为311Hz，试验设备无法满足试验要求，把两台电抗器串联后电感量为96H，经计算试验频率为219.9Hz，试验电流0.9A满足试验设备要求和标准要求。

（二）试验频率的调整

在变频串联谐振耐压试验中，变压器、电容器等被试品与电感器、电容器等元件串联构成谐振回路。当试验频率与被试品的固有频率相匹配时，回路中的电流和电压将达到最大值，实现高效耐压试验，调整试验频率，可保证被试品在最佳谐振状态下进行测试，提高试验准确性。在谐振状态下，回路中的电流和电压相位相同，因此能量在电感器和电容器之间来回传递，不会造成额外的能量损耗。通过调整试验频率至谐振点，可最大限度地减小试验过程中的能量损耗，降低试验成本，提高试验效率。

不同类型的电力设备具有不同的固有频率和电气特性，对于大容量、高电压的电力设备，需要较低试验频率以减小电流和电压的波动，对于小容量、低电压的设备，需要较高试验频率以提高测试灵敏度。通过灵活调整试验频率，可保证不同类型被试品在最佳测试条件下进行测试，得到准确试验结果。在耐压试验过程中，过高的试验电压和电流会对被试品和试验设备造成损坏，引发安全事故。通过调整试验频率至合适的范围，可保证试验过程中的电压和电流在安全范围内波动，避免潜在安全风险。

（三）试验前接地检查

试验回路连接完成，在对高电压，长距离的电缆进行试验前，检查电缆的护层，交叉互联解开并连接，电缆对侧屏蔽可靠接地。被试电缆已安装到位，达到投运状态。试验一相时，屏蔽层连同其他两相屏蔽层、导体一起接地。对接地电阻的要求接地线要与接地体可靠连接，接地电阻小于4Ω[3]。

案例：在钢厂某变电所进行110kV电缆耐压试验前，所有准备工作结束，接地确认无误，对电缆进行耐压试验，在对A、B两相耐压时没有异常现象，耐压电压128kV/1小时，试验电压、电流均正常。在对C相进行耐压试验时操作箱电压表有摆动现象，试验人员没有及时发现问题，待试验结束后发现电C相电缆有一处被烧穿。经检查发现屏蔽端接地不良，被试验人员碰掉，导致屏蔽接地不可靠，试验过程中电缆薄弱点长时间对地放电导致，经重新对电缆做中间头后再进行耐压试验后达到要求。

（四）对试验环境的要求

在实际现场试验中对试验环境要求比较高，被试物与周围物体有足够的安全距离，避免在升压过程中对地放电。最重要的是在电抗器下不能有铁板等物体，因试验时试验电压为变频电压，在周围产生磁场，如有铁板在试验时会产生涡流，随着试验电压的升高，涡流增加，电抗器发热，因试验时间长，电抗器为干式电抗器，本身试验电流和涡流叠加，使电抗器发热速度加快，最终使电抗器烧毁。

案例：在某钢厂进行35kV电缆耐压时，因未对试验环境进行确认，试验过程中电抗器突然发热冒烟，变频设备自动跳闸。对现场进行确认，电缆绝缘良好，排除电缆原因。再对试验设备进行检查发现一台电抗器断路，电抗器温度很高，查看设备接线均正确，接地良好，试验电压、试验电流均与理论计算吻合。事故原因无法判断，经与甲方人员沟通，甲方人员确认摆放电抗器下方有一块铁板，因埋在水泥下，试验人员无法看到导致事故发生，后更换电抗器摆放位置，耐压试验顺利结束[4]。

四、变频串联谐振耐压技术及应用实例

经过前期对变频串联谐振耐压试验的研究，2006年GB50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的发布，经过十多年在供配电系统工程不断的试验和按国标的执行试验标准，目前GB50150-2016《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的标准已重新发布，按甲方要求对电缆耐压试验执行电力系统标准，从10kV到220kV均应进行交流耐压试压，对变频串联谐振耐压装置进行了优化，按冶金工程项目对设备进行合理配置，目前冶金工程中下列设备基本能够满足现场施工调试需要，为在冶金行业领军地位打下基础。

在电力电缆的耐压试验中，由于电缆的电容量较大，传统工频试验变压器体积庞大、重量重，且大电流的工作电源在现场不易取得。而采用变频串联谐振耐压技术，通过调节试验频率，使得谐振回路在较低的励磁电压下产生较高的试验电压，实现对电力电缆的高效、可靠测试。变频串联谐振耐压技术还适用于发电机、变压器、GIS（气体绝缘开关设备）等高压电力设备的耐压试验。采用变频串联谐振耐压技术，可对设备在额定电压下的耐压试验，从而及时发现潜在的缺陷和故障，确保电力系统的安全运行。

五、结束语

经过前期的技术研发，并在后续工程中不断完善和提高，利用变频串联谐振设备对220kV及以下高压设备进行耐压试验是完全可行的。对于各类试验中遇到的问题，采用调整不同参数和容量的电抗器、励磁变、增加电容、调整回路的品质因数的方法都是行之有效的。目前已完全掌握变频串联谐振耐压技术，全面覆盖公司承揽的工程需要，今后将不断探索，提升技术能力，使其始终站在冶金系统供配电的前沿。

参考文献

[1]马韬. 预防性交流变频串联谐振耐压试验探析［J］. 数字传媒研究，2024，41(02):78-80.

[2]冯相永，贾会星，李永泉，等. GIS调频式串联谐振耐压试验方案研究［J］. 盐城工学院学报(自然科学版)，2021，34(01):22-25.

[3]孙军威. 变频串联谐振电缆耐压的实际应用［J］. 电工技术，2020，(15):102-103+107.

[4]任书燕，董海庆. 变频串联谐振在变压器交流耐压试验中的应用［J］. 机电信息，2020，(09):3-4.

电力基建施工现场安全管控系统的应用策略

殷陆明

安徽电力工程监理有限公司，安徽 合肥 230031

摘　　要： 文章以现代电力基建施工为背景，对其施工现场的安全管控系统及其应用策略进行研究，包括电力基建施工及其现场安全管控的重要性，电力基建施工现场安全管控系统及其主要应用策略分析。经分析可知，在电力基建施工中，智能门禁系统、智能安全带系统、脚手架预警系统以及现场车辆管理系统等，均属于其现场安全管控系统。通过这些系统的合理应用，便可对电力基建施工现场做出良好的管理与控制，从而有效确保其施工现场的安全性。

关 键 词： 电力基建；施工现场；安全管控系统；智能门禁；智能安全带

Application strategies of safety control system in electric power infrastructure construction site

Yin Luming

Anhui Electric Power Engineering Supervision Co., Ltd. Hefei, Anhui 230031

Abstract: Based on the background of modern electric power infrastructure construction, this paper studies the safety control system and its application strategies on the construction site, including the importance of electric power infrastructure construction and its on-site safety control, as well as the analysis of the safety control system and its main application strategies on the electric power infrastructure construction site. According to the analysis, in the electric power infrastructure construction, the intelligent access control system, intelligent seat belt system, scaffolding early warning system, and on-site vehicle management system all belong to the on-site safety control system. Through the reasonable application of these systems, good management and control can be achieved over the electric power infrastructure construction site, thus effectively ensuring the safety of the construction site.

Keywords: electric power infrastructure; construction site; safety control system; intelligent access control; intelligent seat belt

前言

随着现代电力工程行业的不断发展，越来越多电力基建项目开始投入施工。因此类工程施工中会涉及到众多专业，技术、设备和人员等，所以其施工现场的安全管控工作至关重要。为确保电力基建工程施工现场的安全管控效果，研究者首先需了解电力基建施工的基本情况，明确现场安全管控在其中的重要性。然后以此为依据，结合当前的电力基建工程施工情况，对其施工现场安全管控系统进行分析，并在此基础上研究其应用策略。如此方可使该系统得到合理应用，以确保其施工现场的安全性。

一、电力基建施工及其现场安全管控的重要性

（一）电力基建施工基本介绍

电力基建施工是电力系统新建、扩建、改建或技术改造过程中所进行的施工。其主要目标是确保电力系统的安全可靠运行，以保障其供电质量及其稳定性。对于整体电力系统的运行、优化及其发展而言，电力基建施工都具有非常重要的影响作用。因此，在现代电力工程行业的发展过程中，电力基建施工开始成为电力工程单位的重点关注内容，而其施工现场安全管控也受到了电力工程单位和相关研究者的高度重视。

（二）电力基建施工现场安全管控的重要性

在现代电力基建工程管理中，施工现场安全管控是一项关键的工作内容。就目前的电力基建施工来看，其施工现场安全管控的重要性主要表现在以下几方面：（1）合理的施工现场安全管控可有效避免此类工程施工现场的各类安全事故，避免或降低施工人员伤亡。（2）合理的施工现场安全管控可对此类工程的整体施工组织作出进一步优化，在确保其安全施工的同时进一步提升其施工效率与施工质量。（3）合理的施工现场安全管控可有效避免安全事故对正常施工的不利影响，降低安全事故所导致的工期延误情况发生几率，从而实现其施工进度的良好保障。（4）合理的

施工现场安全管控可有效避免各类安全事故或其他不良情况对现场及其周边环境的不利影响，达到良好的生态环保效果。（5）合理的施工现场安全管控可有效降低不必要的施工安全事故发生概率，防止安全事故所导致的经济损失与法律纠纷等情况发生，在提升电力工程企业经济效益的同时，进一步提升其社会形象[1]。由此可见，施工现场安全管控工作在电力基建施工中的重要性十分明显，电力工程单位应对其重要性做到足够重视，以合理的策略设计和应用各个安全管控系统，从而实现其应用优势的充分发挥。

二、电力基建施工现场安全管控系统及其主要应用策略分析

（一）智能门禁系统及其应用策略

智能门禁系统是以信息化和智能化技术为支持开发的一款门禁系统，该系统可为电力基建工程施工现场提供智能化门禁功能，从而在无人值守的情况下避免无关人员进入现场，并对现场人员进出和停留等情况做到不间断监测。作为现代电力基建工程施工现场安全管控系统中的重要组成部分，智能门禁系统的主要模块及其应用策略如下：

（1）人员通行管理报表模块，其基本功能是对现场施工范围内的各个区域人员通行情况进行统计和记录，为后续相关数据查询提供支持，同时也可实时显示进出人员的刷卡信息。具体应用时，其人员进出查询条件主要包括按区域查询、按进出时间段查询、按单位名称查询以及按人员姓名查询等。用户在选择相应查询条件后，该模块将立即在数据库内检索相关记录，并以报表的形式将查询结果显示给用户，其中所含信息包括查询的区域名称、进出门名称、单位名称、IC卡号、人员姓名、进出时间等，从而为电力基建工程施工现场的人员进出情况查询提供支持，以防无关人员进入现场所导致的不必要安全事故[2]。

（2）人员通行管理模块，其基本功能是实时显示电力基建施工现场区域平面示意图以及现场人员的实时通行信息等。借助该模块，用户可实时查看施工现场实际情况，包括各施工区域名称、所属施工单位、当前时间、进出人员所属公司和部门、进出时间、等待时间等。同时，该模块也可通过门禁刷卡识别验证的方式阻止无关人员进入现场，并及时对现场人员停留时间过长情况发出报警，以实现施工现场人员通行情况的全天候、不间断安全管理。

（3）数据服务平台，其基本功能是为用户提供数据访问接口、数据安全控制以及旁站到位检测等功能，从而为该系统中的各类数据储存、分析、查询和管理等提供服务，并确保整体系统的安全可靠运行。

（二）智能安全带系统及其应用策略

在现代电力基建施工现场安全管控系统中，智能安全带也是一个重要组成部分，它是为施工现场高空作业所研发的一个智能化安全管控系统。高空作业是电力基建工程现场施工中最常见的施工内容，同时也是安全风险性最大的一项施工内容，它对于电力基建工程进度、施工质量和现场人员安全等都具有直接影响。为实现高空作业安全的良好管控，防止因施工人员安全意识不足、自我防护能力不足或违章作业等情况所导致的高空作业安全事故，智能安全带系统开始在其现场安全管控工作中投入使用。该系统的基本功能是通过现场施工人员安全带挂钩上的磁阻变化情况，判断安全带上的金属物体是否被装入安全钳内；并通过光电发射装置与光电接收装置判断该金属物体是否按要求被安装到安全钳内部指定位置。因安全带上的安全钳锁扣两侧均设置了金属触点，在两个金属触点未接触之前，其本体将处于绝缘状态；而当两侧安全扣锁住时，两个金属触点将接触并导通，所以在实际管控时，借助光电耦合原理，便可对其导通情况做出有效识别[3]。如此便可对现场施工人员是否正确使用安全带做出实时、准确判断，避免因安全带使用不当或未使用安全带等情况带来的高空作业安全隐患。同时也可通过气压监测装置、柔性压力传感器以及心率监测传感器等对施工人员作业高度、压力及其心率等做出实时监测，以便及时发现施工人员的异常情况，确保其身体健康状态。图1为某电力基建工程施工现场应用的智能安全带基本组成示意图：

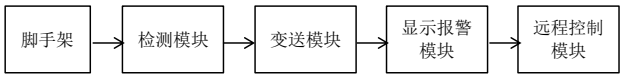
> 图1-某电力基建工程施工现场应用的智能安全带基本组成示意图

具体应用时，技术人员需要为所有的安全带内部各安装一个RFID芯片，要求每一名施工人员以手机APP扫描的方式完成实名认证，从而使智能安全带和施工人员实名信息做到合理匹配。将定位装置设置在智能安全带上，借助无线蓝牙信标定位技术实时获取工作人员所处位置。当施工人员进入施工现场后，智能安全带会对其锁扣开启时间进行监测，若施工人员未在特定时间内系好安全带，系统会立即向管理人员发出报警，并向所属施工人员发出“系好安全带”的提示。对于各类检测和传感装置获取到的施工人员所处高度及其身体状态等监测数据，系统会将其实时显示在监管客户端，并及时针对异常情况发出报警。借助智能安全带上设置的音视频对讲记录仪，管理者也可对施工人员的实际情况做到实时了解，并对其实际需求做出及时响应[4]。如此便可对电力基建工程施工现场的高空作业做到全方位监管，尽最大限度确保其高空作业的安全性。

（三）脚手架预警系统及其应用策略

在当前的电力基建工程现场施工过程中，脚手架是最为常用的一种安全防护装置，其应用状态将会对现场施工安全产生直接影响。基于此，在此类工程项目的施工现场安全管控系统中，脚

手架预警系统也是一个至关重要的组成部分。该系统基本应用原理是通过位移传感器对脚手架在水平方向上和垂直方向上的位移变化量做出实时监测，并将监测到的位移变化量信号转换成电量信号的形式，通过工业物联网或无线通信网络实时上传给预警系统终端，从而对其位移量即将超出限定值的情况及时发出预警。就目前的脚手架预警系统来看，其主要组成模块包括检测模块、变送模块、显示报警模块以及远程控制模块。图2为脚手架预警系统基本组成模块及其预警流程示意图：



> 图2- 脚手架预警系统基本组成模块及其预警流程示意图

具体应用时，借助检测模块中的传感器设备，可实时获取脚手架的水平位移量及其垂直位移量。因电力基建工程施工现场为露天环境，所以其检测模块中设置的传感器应对露天环境具有足够强的适应性，如此方可实现脚手架位移状态参数的准确获取。就目前来看，电磁位移传感器是该模块中最为适用的传感器设备，该设备可适应电力基建工程现场环境，且检测精度非常高，响应速度非常快。但是在实际安全管控中，若预算成本不足，也可采用电位器位移传感器。变送模块中需要设置多通道形式的变送仪器设备，此类设备可对来自于检测模块的电压量信号进行转换处理，使其转变为4-20mA范围内的标准信号，并通过网络将其实时传输到显示报警模块[5]。在显示报警模块中，多通道形式的记录仪设备会对4-20mA标准信号进行实时接收，并继续对其进行A/D转换处理，从而使模拟量形式的电信号转变成数字量形式的位移数据信号。之后，该模块会将转换获取到的位移数据和系统中设定好的报警限值进行比对，若发现其接近或超出报警限值，该模块会立即将相应的报警信号发出。在远程控制模块内，最基本的组成部分是无线发射装置以及无线接收装置，在这些装置支持下，该模块可实时、同步接收脚手架报警信号以及智能安全带报警信号，并及时将接收到的报警信号转发给管理人员，以达到良好的人机交互效果。如此便可对电力基建工程施工现场的脚手架位移情况做到实时、有效管控，以免因脚手架位移量过大所导致的安全事故，从而为电力基建工程现场安全提供有力支持。

（四）现场车辆管理系统及其应用策略

就目前的电力基建工程施工现场来看，在具体的安全管控过程中，车辆管理也是一项非常重要的工作任务。基于此，现场车辆管理系统也成为其现场安全管控系统中的一个重要组成部分。在电力基建工程中，施工现场的车辆主要包括施工车辆和特种车辆等。各类车辆的基本安全管控目标是为其质量、作业效果和操作人员职业资质等的全面检测提供支持，并根据检测结果决定是否允许其进入施工现场，同时也可为现场施工区域内的车辆行驶路线做出合理规划。

对于该系统，具体应用时，其主要策略包括以下几方面：（1）在各类工程车辆以及特殊车辆上设置RFID芯片，芯片中应包含其年检合格信息和特种施工作业证件的有效信息等。（2）要求所有参与到施工车辆或特种车辆驾驶和操作人员通过手机APP完成个人身份认证，或为其发放带有RFID芯片的身份认证卡。（3）在施工现场入口位置设置电动读卡器和电动闸杆，由电动读卡器对工程车辆与特殊车辆的年检信息及其作业证有效信息进行读取，并对其驾驶操作人员的专业资质信息进行读取。经读取确定合格之后，电动闸杆才可以升起，即允许车辆进入施工现场；否则电动闸杆将保持关闭，车辆不可进入施工现场[6]。（4）将相应的标识牌设置在施工区域内的车辆通行道路两侧，并通过智能监控和安全提示等装置的合理设置，对进入现场的车辆提供实时引导，以合理规划其行驶路径，避免驶入禁止车辆进入的区域。如此便可对电力基建工程施工现场的车辆安全做到有效管控，防止不合格的车辆或不具备专业资质的驾驶操作人员进入现场，并有效避免车辆误入特殊区域，以实现施工现场车辆安全的良好保障。

三、结束语

综上所述，因电力基建工程施工中涉及到的专业内容、技术设备以及施工人员等众多，所以在实际施工中，现场安全管控工作的合理实施至关重要。为满足此类工程项目施工现场的实际安全管控需求，电力工程单位、研究者与工作人员需将各类安全管控系统引入，并结合实际情况，以合理的策略来应用其安全管控系统。如此便可对其施工现场的整体安全性做出良好管控，从而有效避免各类不必要的施工安全事故发生。

参考文献

[1] 曹浚源，李硕，丁佳伟. 人工智能技术在电力工程施工现场管控系统的应用［J］. 电工技术，2024(z1):58-60.

[2] 张斌，陈莉，滕飞，等. 输变电工程施工人员”12分”安全管控系统设计［J］. 电力安全技术，2024(4):1-4.

[3] 冉一丁，龙锦壮，高峰，等. 基于状态感知的变电站施工现场安全风险管控系统研究［J］. 电气技术与经济，2024(1):10-13.

[4] 黄紫英. 基于物联网与人工智能技术的电力施工现场管控系统研究［J］. 电子元器件与信息技术，2023(8):62-64,68.

[5] 巴志杰. 电力线路施工现场安全管理的智能化管控技术［J］. 电力系统装备，2023(7):168-170.

[6] 李乐蒙. 电力基建现场违章识别系统设计与实现［D］. 山东：山东大学，2023.

导水机构性能评估与检修策略优化在水轮机维护中的应用

马凯
贵州金元集团安顺水力发电厂，贵州 安顺 561000

摘　　要： 本文旨在探讨导水机构性能评估与检修策略优化在水轮机维护中的应用。通过对导水机构的结构原理、作用及其性能评估方法的研究，结合实际应用中的检修策略优化，文章提出了一系列旨在提高水轮机运行效率和维护水平的方法。这些研究对于确保水轮机的长期稳定运行和延长设备寿命具有重要意义。

关 键 词： 导水机构；性能评估；检修策略；水轮机维护；结构优化

Application of performance evaluation and maintenance strategy optimization of water guide mechanism in water turbine maintenance

Ma Kai
Anshun Hydropower Plant of Guizhou Jinyuan Group, Anshun , Guizhou 561000

Abstract: This paper aims to discuss the application of the performance evaluation and maintenance strategy optimization of the water guide mechanism in the maintenance of the water turbine. Through the study of the structure principle, function and performance evaluation method of the water guide mechanism and the optimization of the maintenance strategy in the practical application, this paper proposes a series of methods aiming to improve the operation efficiency and maintenance level of the water turbine. These studies are important to ensure the long-term stable operation of the turbine and to extend the life of the equipment.

Keywords: water guide mechanism; performance evaluation; maintenance strategy; water turbine maintenance; structure optimization

水轮机作为水电站的核心设备，其运行效率与维护水平直接影响到水电站的发电能力和经济效益。导水机构作为水轮机的重要组成部分，负责调节和控制进入转轮的水流，对机组的运行稳定性至关重要。因此，对导水机构进行性能评估和检修策略优化，对于提高水轮机的维护水平和延长设备寿命具有重要意义。

一、导水机构的结构原理

（一）结构组成

导水机构是水轮发电机组中的关键部件，其设计精妙，功能重要。该机构通常由进水口、导叶、转轮和出水口等几个核心部分组成，各部分协同工作，共同实现水流的引导与控制。进水口作为导水机构的首要部件，其主要职责是接收来自上游的水流。这一环节至关重要，因为进水口的尺寸、形状和位置都会直接影响到后续水流的流畅度和效率。一个设计合理的进水口能够确保水流平稳地进入导水机构，为后续流程奠定良好的基础。导叶则是导水机构中的另一个关键组件。它们被巧妙地布置在进水口和转轮之间，起到引导水流的作用。通过调整导叶的开度和角度，可以精确地控制水流的方向、速度和流量，使其以最合适的角度和速度冲击转轮。这一设计不仅提高了水轮机的效率，还确保了机组的稳定运行[1]。转轮是水力发电过程中的核心部件，它负责将水流中的动能转化为机械能。而出水口则负责将经过转轮后的水流顺利排出，避免对机组造成不必要的冲击和损坏。这两个部分虽然结构相对简单，但在整个导水机构中同样扮演着不可或缺的角色。

（二）传动机制

导水机构的传动机制是其实现功能的关键所在，主要通过一系列精密设计的连杆、拐臂等部件协同工作来完成。这些部件不仅结构复杂，而且相互之间的配合也极为精密，确保了导叶能够按照实际需求进行精确的开闭操作。连杆作为传动机制中的主要部件之一，承担着连接和传递动力的重任。它们通过精密的加工和装配，确保了动力的传递准确无误。而拐臂则起到了改变动力

作者简介：马凯（1995.08-），男，回族，贵州省安顺市人，本科，助理工程师，研究方向：水轮发电机组检修。

传递方向的作用，通过巧妙的设计，使得导叶能够在不同的角度和位置上进行精确的调整。在传动机制中，还配备有相应的调节机构和控制系统，以确保导叶的开闭操作能够按照预设的程序和参数进行[2]。这些系统通过实时监测水流状态、机组负荷等参数，对导叶的开闭角度和速度进行精确控制，从而实现了对水流的高效引导和控制。

（三）密封结构

导水机构中的密封结构是确保其高效、稳定运行的关键环节之一，对于防止漏水现象的发生具有至关重要的作用。在导水机构的设计中，密封结构的合理性和可靠性直接关系到整个机组的安全性和经济性。为了确保导叶与底环、顶盖之间的密封性，导水机构通常采用O型密封和Y型密封相结合的方式。O型密封以其结构简单、安装方便、密封效果良好等优点而被广泛应用。它利用橡胶材料的弹性，通过预紧力实现密封效果，能够有效地防止水流的泄漏。而Y型密封则具有更高的密封性能和适应性，特别适用于高压、高速的水流环境。其独特的Y型结构能够提供更好的弹性补偿和密封压力分布，从而确保在复杂工况下仍能保持稳定的密封效果[3]。这两种密封方式的结合使用，不仅提高了导水机构的密封性能，还增强了其适应不同工况的能力。

二、导水机构的结构作用

（一）调节水流

导水机构在水力发电系统中扮演着至关重要的角色，其核心功能之一便是调节水流。通过精确控制导叶的开度，导水机构能够灵活地调整进入转轮的水流量，进而实现对水轮机输出功率的精准调节。在实际运行过程中，随着电网负荷的变化，水轮机的输出功率也需要相应地进行调整。此时，导水机构便发挥了其关键作用。通过改变导叶的开度，可以精确地控制水流的流量和流速，从而确保水轮机始终保持在最优工况下运行[4]。这种调节方式不仅提高了水轮机的效率，还增强了整个水力发电系统的稳定性和灵活性。此外，导水机构的调节功能还使得水轮机能够适应不同的水位和流量条件，确保在各种工况下都能保持高效、稳定的运行。因此，导水机构的结构作用对于水力发电系统的整体性能和运行效率具有至关重要的影响。

（二）引导水流

导水机构在水力发电系统中不仅起到调节水流的作用，更重要的是能够引导水流以最佳的角度和速度冲击转轮，从而提高能量转换效率。导叶作为导水机构的核心部件之一，其设计至关重要。通过精确计算和模拟，工程师们确定了导叶的最佳形状和角度，以确保水流在流经导叶时能够顺畅地改变方向，并以最佳的角度冲击转轮。这种设计不仅能够减少水流的摩擦损失和涡流损失，还能够提高水流的动能利用率，从而增加水轮机的输出功率。同时，导叶的开度调节也是引导水流的重要手段。根据实际需要，通过调节导叶的开度，可以改变水流的流量和流速，从而进一步调整水流冲击转轮的角度和力度。这种调节方式使得水轮机能够适应不同的工况和需求，保持高效稳定的运行[5]。

（三）截断水流

导水机构在水力发电系统中还承担着截断水流的重要任务，这一功能在机组停机时显得尤为重要。无论是正常停机还是因事故而紧急停机，导水机构都能够迅速、有效地截断水流，以防止水流继续冲击转轮和其他关键部件，从而保护机组免受损坏。在正常停机过程中，随着机组负荷的逐渐降低，导水机构会相应地调整导叶的开度，逐渐减少进入转轮的水流量。当机组完全停止运行时，导水机构会迅速将导叶关闭，确保水流被完全截断。这一操作不仅有助于保护机组免受水流冲击的影响，还能够为机组的下一次启动做好准备。在事故停机情况下，导水机构的截断水流功能更是至关重要。当机组发生故障或异常情况时，导水机构能够迅速响应，立即截断水流，以防止故障进一步扩大，保护机组和整个水力发电系统的安全[6]。因此，导水机构的截断水流功能对于确保水力发电系统的稳定运行和安全性具有重要意义。

三、导水机构性能评估方法

（一）流量调节性能评估

导水机构的流量调节性能是其核心性能指标之一，直接关系到水力发电系统的效率和稳定性。为了准确评估这一性能，通常需要通过实验测量的方式来进行。具体而言，评估人员会设定不同的导叶开度，并测量对应的水流量。通过对比测量结果与理论设计值，可以直观地评估导水机构的流量调节能力是否满足设计要求。这一过程不仅有助于发现潜在的设计缺陷或运行问题，还能够为后续的优化和改进提供数据支持[7]。因此，流量调节性能评估是导水机构性能评估中不可或缺的一环，对于确保水力发电系统的高效、稳定运行具有重要意义。

（二）密封性能评估

密封性能是导水机构另一个至关重要的性能指标，它直接关系到机组的运行效率和安全性。为了确保导水机构的密封性能达到设计要求，必须对其进行全面的评估。评估过程中，首先需要检查导水机构的密封结构是否完好无损，包括导叶与底环、顶盖之间的间隙是否合适，以及密封材料是否出现磨损或老化现象。这些检查可以通过直观的视觉观察和专业的测量工具来完成。同时，还需要观察机组在运行过程中是否有漏水现象发生。漏水不仅会导致能量损失，还可能对机组的其他部件造成损害。因此，及时发现并处理漏水问题对于确保机组的稳定运行至关重要。

（三）机械性能评估

机械性能评估是导水机构性能评估的重要组成部分，它直接关系到机组的稳定性和耐久性。在进行机械性能评估时，需要重点关注导叶连杆、拐臂等传动部件的磨损和变形情况。这些传动部件在机组运行过程中承受着巨大的力和摩擦，因此很容易出现磨损和变形。评估人员需要仔细检查这些部件的表面状况，观察是否有明显的划痕、裂纹或变形现象。同时，还需要通过专业的测量工具来检测部件的尺寸和形状是否发生变化，以评估其机械强度是否满足长期运行的需求[8]。此外，机械性能评估还需要考虑传动部件的传动效率。传动效率的高低直接影响到机组的能量

转换效率和运行成本。

四、导水机构的检修策略优化

（一）增设限位装置

在导水机构的检修与维护过程中，安全始终是第一位的。为了防止因导叶连杆折断等突发故障导致的导叶失控问题，提出了增设限位装置的优化策略。具体而言，建议在每个导叶的拐臂全开和全关位置分别增设限位装置。这些限位装置能够在导叶连杆发生折断或异常时，及时阻止导叶的进一步运动，从而避免导叶失控对机组造成更大的损害。同时，这些限位装置的设计应确保在单片导叶失控的情况下，不会影响到相邻导叶的正常动作，以维持整个导水机构的稳定运行。通过增设限位装置，可以有效提升导水机构的安全性和可靠性，为机组的长期稳定运行提供有力保障。这一优化策略的实施，将有助于提高水力发电系统的整体效率和安全性[9]。

（二）优化密封结构

密封结构是导水机构中至关重要的部分，其性能的好坏直接影响到机组的运行效率和安全性。为了提升导水机构的耐久性和稳定性，需要对密封结构进行优化设计。具体而言，可以采用更优质的密封材料，如耐磨、耐腐蚀、耐高温的高性能橡胶或合成材料，以提高密封性能和使用寿命。这些优质材料不仅能够更好地适应水流冲刷和温度变化，还能够减少因密封失效导致的漏水问题，从而提高机组的运行效率。同时，还需要对密封和卡环的材质进行改进，以适应长期运行的需求。通过选用更加坚固、耐用的材料，可以降低密封和卡环的磨损率，延长其使用寿命，减少检修和维护的频率，从而降低机组的运行成本。综上所述，优化密封结构是提升导水机构耐久性和稳定性的重要手段，有助于确保机组的长期稳定运行。

（三）实施预防性维护

为了确保导水机构的长期稳定运行，需要转变传统的故障后维修模式，积极实施预防性维护策略。具体而言，可以根据设备的运行数据和历史维护记录，制定出一套科学合理的预防性维护计划。在这份计划中，需要明确导水机构各个部件的检查周期和维护标准。通过定期对导水机构进行检查和维修，可以及时发现并处理潜在的问题，如磨损、变形、松动等，从而避免这些小问题逐渐演变成大的故障预防性维护的实施不仅可以显著降低导水机构的故障率，还可以减少故障停机时间，提高机组的可用性和发电效率。同时，通过预防性维护，还可以延长导水机构的使用寿命，降低机组的运行成本。因此，实施预防性维护是优化导水机构检修策略的重要方向[10]。

五、结论

本文通过对导水机构的结构原理、作用及其性能评估方法的研究，结合实际应用中的检修策略优化，提出了一系列旨在提高水轮机运行效率和维护水平的方法。这些研究对于确保水轮机的长期稳定运行和延长设备寿命具有重要意义。未来，随着水电产业的不断发展，对导水机构的性能评估和检修策略优化的研究将更加深入，为水轮机的维护提供更加科学的依据。

参考文献

[1]裴吉，刘总帅，王文杰，等. 导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响［J］. 排灌机械工程学报，2024,42(3):217-222,229.

[2]石丽建，汤方平，周捍琥，等. 不同导叶叶片掠角下轴流泵段水力特性分析及试验［J］. 农业工程学报，2015,31(14):90-95.

[3]岳跃康. 导叶对无轴泵喷推进性能及叶片空化效应的影响［J］. 河南科技，2024,51(14):58-62.DOI:10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2024.14.011.

[4]胡雄峰，刘峰，郑应霞，等. 基于全生命周期的水轮机导水机构改造费用计算方法与应用［J］. 中国农村水利水电，2021,(02):166-169.

[5]但杰. 过军渡水电站2号发电机组导水机构导叶弯曲连杆频繁剪断的处理［J］. 小水电，2019,(02):56-57.

[6]谢斐，李权，姚文俊，等. 柳树坪电站导水机构结构和功能的改进处理［J］. 水电与新能源，2019,33(02):51-54.DOI:10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2019.02.014.

[7]杜永. 水电机组导水机构结构优化综述——框式（双）连臂的设计与应用［J］. 水电与抽水蓄能，2017,3(04):85-87.

[8]王少榕. 西溪电站2号机组导水机构大修［J］. 小水电，2016,(05):45-47+50.

[9]熊朝明，张洪，邹龙军. 水轮机导水机构漏水影响原因分析及处理［J］. 中国水能及电气化，2009,(04):38-40+68.

[10]杜江，刘永红，张军，等. 三峡电厂ALSTOM水轮机导水机构拐臂抗磨片损坏及处理［J］. 水电自动化与大坝监测，2007,(02):83-84.

水轮机转轮不平衡故障的诊断与检修流程优化

杨合

贵州金元集团安顺水力发电厂，贵州 安顺 561000

摘　　要： 水轮机转轮不平衡故障是水电站运行中常见的机械故障之一，直接影响水轮机的运行效率和安全性。本文通过分析水轮机转轮不平衡的原因，探讨故障诊断方法和检修流程的优化策略，旨在提高水轮机运行的可靠性和稳定性。通过分析，结合动平衡试验和振动分析技术，提出了一套系统化的故障诊断和检修流程，为水电站维护人员提供了参考。

关 键 词： 水轮机；转轮不平衡；故障诊断；检修流程优化；动平衡试验；振动分析

Optimization of the diagnosis and maintenance process of the turbine runner unbalanced fault

Yang He

Anshun Hydropower Plant of Guizhou Jinyuan Group, Anshun , Guizhou 561000

Abstract: The turbine runner imbalance fault is one of the common mechanical faults in the operation of the hydropower station, which directly affects the operation efficiency and safety of the turbine. By analyzing the causes of the turbine runner imbalance and discussing the optimization strategy of fault diagnosis method and maintenance process, it aims to improve the reliability and stability of the turbine operation. Through analysis, combined with dynamic balance test and vibration analysis technology, a set of systematic fault diagnosis and maintenance process is proposed, which provides a reference for the maintenance personnel of hydropower station.

Keywords: water turbine; wheel imbalance; fault diagnosis; maintenance process optimization; dynamic balance test; vibration analysis

水轮机作为水电站的核心设备，其运行状态直接关系到水电站的安全和效率。转轮不平衡是常见的故障之一，会导致振动、噪声增大，甚至引发更严重的机械故障，影响机组的整体性能和使用寿命。因此，对水轮机转轮不平衡故障进行及时准确的诊断和检修显得尤为重要。

一、水轮机转轮不平衡的原因分析

（一）转轮结构问题

水轮机转轮不平衡的原因分析中，转轮结构问题是一个不可忽视的重要因素。这一问题的根源往往在于叶片的数量或角度存在不一致性。在水轮机的设计和制造过程中，每个叶片的数量、形状和角度都是经过精密计算和严格控制的，以确保转轮在旋转时能够达到最佳的平衡状态。然而，在实际操作中，由于制造误差、材料差异或长期运行后的磨损，叶片的数量或角度可能会发生变化，导致转轮整体的不平衡。具体来说，如果叶片数量不一致，那么在旋转过程中，转轮所受到的力和力矩将不再均匀分布，从而产生不平衡现象。同样，叶片角度的不一致也会导致类似的问题。此外，叶片的磨损不均匀也是一个重要的原因。由于水流对叶片的冲击和磨损作用，不同叶片的磨损程度可能会有所不同，这同样会破坏转轮的平衡状态。材质差异也是导致转轮不平衡的一个重要因素。在制造过程中，如果使用了不同材质或不同批次的材料，那么叶片的密度、硬度和弹性等物理特性可能会有所不同，从而影响转轮的平衡[1]。

（二）制造质量问题

水轮机转轮不平衡的深层次原因之一，在于制造过程中存在的质量问题。制造工艺的严谨性对于确保转轮各部件的精确度和一致性至关重要。然而，在实际操作中，一些制造厂家可能由于技术限制、成本控制或管理疏忽，导致制造工艺不够严谨，进而影响了转轮的平衡性。制造工艺的不严谨可能体现在多个方面，如加工精度不足、组装过程不细致等。这些都会使得转轮的各个部件在尺寸、形状和重量分布上存在差异，从而在旋转时产生不平衡的力和力矩。这种不平衡不仅会导致振动和噪音的增加，还可能对转轮本身和整个水轮机系统造成损害。此外，金属疲劳也是制造质量问题中不容忽视的一点。在制造过程中，如果使用了质量不合格的金属材料，或者对材料的处理不当，如热处理不充

作者简介：杨合（1985.04-），男，苗族，贵州省安顺市人，本科，助理工程师，研究方向：水轮发电机组检修。

分或应力消除不彻底，都可能导致金属疲劳的发生。金属疲劳会降低材料的强度和韧性，使得转轮在长时间运行后容易发生变形和损坏，进而引发不平衡问题。

（三）装配失误

水轮机转轮不平衡的又一关键原因，在于装配过程中的失误。装配是水轮机制造与安装的最后一道关键工序，其质量直接决定了转轮乃至整个水轮机系统的运行稳定性和可靠性。在安装方向上，如果转轮或其关键部件的安装方向出现偏差，如叶片的安装角度不正确，将会导致转轮在旋转时受力不均，从而产生不平衡[2]。这种不平衡不仅会增加转轮的振动和噪音，还可能加速部件的磨损，缩短设备的使用寿命。紧固力是装配过程中另一个需要严格控制的因素。如果紧固力不足，转轮的各个部件可能无法紧密配合，导致在旋转过程中产生松动和位移。这不仅会影响转轮的平衡性，还可能引发更严重的安全问题。此外，配合面的失配也是装配失误中常见的问题。转轮与其他部件的配合面如果存在间隙过大、形状不匹配等问题，将会导致转轮在旋转时产生额外的摩擦和阻力，进而影响其平衡性和效率。

（四）水力不平衡

水轮机转轮不平衡的另一个重要因素，是水力不平衡。水力不平衡主要源于水轮机内部流道的几何形状和流动状态的不均匀性。涡壳作为水轮机的重要部件，其形状的正确性对于引导水流均匀进入转轮至关重要。如果涡壳的形状设计不合理或制造过程中存在误差，将会导致水流在进入转轮前产生不均匀的流速和压力分布。这种不均匀性会直接影响转轮的受力情况，使其在运行过程中产生不平衡。导叶作为控制水流方向和流量的关键部件，其开口的均匀性同样对转轮的平衡性有着重要影响[3]。如果导叶的开口不均，将会导致水流在进入转轮时产生偏流，使得转轮受到不均匀的水力冲击。这种冲击不仅会增加转轮的振动和噪音，还可能加速转轮和导叶的磨损。此外，转轮止漏环的偏心也是导致水力不平衡的一个重要原因。止漏环的主要作用是防止水流从转轮与固定部件之间的间隙泄漏，如果止漏环偏心，将会导致水流在通过该间隙时产生不均匀的流动状态，从而影响转轮的平衡性。

二、水轮机转轮不平衡故障诊断方法

（一）振动分析

水轮机转轮不平衡故障诊断的一种有效方法，是振动分析。这种方法通过测量水轮机机组不同部位的振动幅值和频率，来深入分析其振动特性，从而准确判断转轮不平衡的位置和程度。在实际操作中，振动传感器被安装在机组的各个关键部位，如轴承座、机架和转轮上。这些传感器能够实时捕捉并记录机组在运行过程中的振动数据。通过对这些数据的分析，技术人员可以了解机组在不同工况下的振动情况，包括振动的幅值、频率和相位等关键参数。振动分析的核心在于识别振动特性与转轮不平衡之间的关联[4]。当转轮存在不平衡时，其旋转过程中会产生周期性的离心力，导致机组产生特定的振动模式。通过对比和分析这些振动模式与已知的不平衡故障特征，技术人员可以准确判断转轮不平衡的位置和程度，为后续的维修和更换工作提供有力支持。

（二）动平衡试验

水轮机转轮不平衡故障诊断的另一关键手段，是动平衡试验。这一方法旨在直接识别并定位转子上的不平衡位置及其质量大小。在进行动平衡试验时，通常会先将水轮机转轮安装在专用的动平衡机上，并使其在一定的转速下旋转。通过高精度的传感器，可以精确测量转轮在旋转过程中产生的振动和离心力。这些数据随后被输入到有限元动力分析等先进的软件中，进行深入的解析和处理。这些软件能够基于复杂的数学模型和算法，准确计算出转轮上不平衡质量的具体位置和大小[5]。一旦确定了不平衡位置和质量，就可以进行配重调整。技术人员会根据分析结果，在转轮的适当位置添加或移除一定数量的配重块，以抵消原有的不平衡力。通过反复试验和调整，可以逐步减小转轮的振动幅值，直至达到规定的平衡标准。

（三）综合诊断

水轮机转轮不平衡故障诊断中，综合诊断方法是一种全面而有效的手段。这种方法不仅考虑了机械方面的因素，如转轮的制造质量、装配精度和磨损情况等，还结合了电气和水力等多方面的因素进行综合分析。在电气方面，技术人员会检查水轮机的电气系统，包括电机、电缆和控制系统等，以确保它们正常运行且不会对转轮的平衡性产生负面影响。例如，电机的不平衡或振动问题可能会传递到转轮，加剧其不平衡状态。水力因素也是综合诊断中不可忽视的一环。技术人员会分析水流通过水轮机时的流动状态，包括涡壳、导叶和转轮等部件的流道形状和尺寸，以及水流的速度和压力分布等。这些因素都可能影响转轮的受力情况，从而导致不平衡[6]。通过综合电气、机械和水力等多方面的因素，技术人员可以更加准确地诊断出水轮机转轮不平衡的原因和程度。

三、水轮机转轮不平衡故障检修流程优化

（一）前期准备

在水轮机转轮不平衡故障的检修流程优化中，前期准备是至关重要的第一步。这一步骤要求对机组进行全面的检查，以准确识别不平衡故障的具体表现。技术人员需要仔细查看机组的运行记录，了解故障发生前后的状态变化，并现场观察机组的运行状态，包括振动、噪音和温度等指标。在确定了不平衡故障的具体表现后，技术人员需要制定详细的检修计划，并准备必要的检修工具和材料。这些工具和材料可能包括振动传感器、测量仪器、专用扳手、螺丝刀以及配重块等。确保所有工具和材料的准备充分，可以有效避免在检修过程中出现中断或延误，从而保证检修过程的顺利进行[7]。此外，前期准备还包括对检修人员的培训和分工。技术人员需要熟悉检修流程、掌握相关技能和操作规范，以确保在检修过程中能够准确判断故障、迅速采取措施并保障个人和机组的安全。

（二）拆卸与检查

在水轮机转轮不平衡故障检修流程中，拆卸与检查环节是至

关重要的一步。这一步骤要求技术人员严格按照操作规程，小心谨慎地拆卸水轮机转轮，以避免对机组造成不必要的损伤。在拆卸过程中，技术人员需要特别关注转轮叶片、轴瓦、轴承等关键部件的状态。这些部件不仅直接关系到转轮的平衡性，还是机组稳定运行的重要保障。因此，在拆卸后，技术人员需要对这些部件进行详细检查，以了解它们的磨损、变形或损坏情况。对于转轮叶片，技术人员需要仔细检查其表面是否光滑、边缘是否完整，并记录叶片的磨损程度和位置。这些信息对于后续的诊断和修复工作至关重要，可以帮助技术人员更准确地判断不平衡故障的原因和程度，从而制定更有效的修复方案。在拆卸与检查环节，技术人员还需要保持高度的责任心和耐心，确保每一步操作都符合规范，以避免因疏忽或不当操作而导致的安全隐患[8]。

（三）动平衡调整

与此同时，动平衡调整也是至关重要的一环。这一步骤基于前期的振动分析和动平衡试验结果，旨在通过精确的配重调整，确保转子质量分布均匀，从而消除不平衡故障。技术人员会根据振动分析和动平衡试验所得的数据，准确确定配重的位置和所需重量。这一过程中，他们需要考虑转轮的结构特点、运行工况以及不平衡故障的具体表现，以确保配重方案的合理性和有效性。在进行配重调整时，技术人员会采用专用的配重块或调整装置，按照预定的位置和重量进行精确添加或移除。他们还会使用高精度的测量仪器，实时监测转轮的振动情况，以确保配重调整后的转子质量分布达到最佳状态[9]。动平衡调整不仅要求技术人员具备丰富的经验和专业知识，还需要他们保持高度的责任心和耐心。

（四）回装与测试

除此之外，在水轮机转轮不平衡故障的检修流程中，回装与测试环节是确保检修成果得以验证和实现的关键步骤。完成配重调整后，技术人员需要按照严格的规程，将水轮机转轮重新回装到机组中。在回装过程中，他们要确保所有部件的安装位置正确、紧固力矩适当，以避免因安装不当而引入新的不平衡因素。回装完成后，机组需要进行全面的振动测试和运行测试。振动测试可以实时监测机组在启动和运行过程中的振动情况，确保振动幅值和频率都在规定的范围内。运行测试则主要关注机组的输出功率、效率和稳定性等指标，以确保机组能够平稳、高效地运行。测试过程中，技术人员需要密切关注机组的运行状态，及时发现并处理任何异常情况[10]。如果测试结果显示机组仍存在不平衡问题，他们需要根据测试结果进一步调整配重方案，直至机组达到理想的平衡状态。

四、结论

水轮机转轮不平衡故障的诊断与检修流程优化是提高水轮机运行可靠性和稳定性的重要措施。通过振动分析、动平衡试验和综合诊断，可以准确判断不平衡故障的原因和位置。通过优化检修流程，确保检修过程高效、有序进行，可以有效提高水轮机的运行效率和安全性。建议水电站维护人员加强对水轮机转轮不平衡故障的诊断和检修工作，确保机组长期稳定运行。

参考文献

[1]樊玉林，祝宝山，胡赞熬，等. 可逆式水泵水轮机多目标优化设计及流动研究［J］. 水电能源科学. 2019,(10).

[2]杨满林. 立式水斗式水轮机转轮简易安装方法［J］. 云南水力发电. 2015,(3).76-77.

[3]徐文化，张敏，何华庭，等. 一种基于高压水射流的混凝土表面处理设备研究［J］. 流体机械. 2022,50(7).

[4]李英鸿. 水轮机转轮汽蚀在线监测系统的研究与运用［J］. 中国高新科技，2024,(18):58-60.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.18.17.

[5]党鉴，邓鑫，凡家异，等. 水泵水轮机转轮止漏环结构优化研究［J］. 东方电气评论，2024,38(05):67-70.DOI:10.13661/j.cnki.issn1001-9006.2024.05.008.

[6]高锐，王俊康，黄华平，等. 混流式水轮机转轮高程偏低问题的分析与处理［J］. 水电与新能源，2024,38(08):6-9.DOI:10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2024.08.003.

[7]杜芝鹏，吴建杰，刘念，等. 应力棒法计算转轮不平衡力矩的修正［J］. 水力发电学报，2022,41(02):72-78.

[8]罗禄堂. 190MW 水轮机转轮水力不平衡引起主轴摆动的分析及处理［J］. 科技风，2018,(36):210.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201836190.

[9]郭浩. 葛洲坝轴流转桨水轮机转轮的工艺研究［J］. 电站系统工程，2012,28(04):71-72.

[10]于德荣，肖风岐. 水轮机转轮制造新技术［J］. 长春工程学院学报(自然科学版),2005,(04):38-40.

水轮机转轮检修中的裂纹检测与修复技术研究

袁飞

贵州金元集团安顺水力发电厂，贵州 安顺 561000

摘　　要： 本文旨在探讨水轮机转轮检修中的裂纹检测与修复技术。水轮机作为水利发电中的关键设备，其工作稳定性直接关系到电站的安全运行和经济效益。然而，水轮机转轮叶片裂纹问题一直是该领域的重要挑战。本文分析了裂纹产生的原因，包括受力因素、泥沙损耗、超负荷工作等，然后介绍了裂纹检测技术，如超声波检测、渗透探伤等，并详细阐述了裂纹修复技术，包括磨削处理、碳弧气刨处理、全体热处理焊补等。通过这些技术手段，可以有效提升水轮机转轮的使用寿命和工作效率。

关 键 词： 水轮机；转轮检修；裂纹检测；裂纹修复

Research on crack detection and repair technology in the maintenance of water turbine runner

Yuan Fei

Anshun Hydropower Plant of Guizhou Jinyuan Group, Anshun , Guizhou 561000

Abstract: This paper aims to explore the crack detection and repair technology in the maintenance of the turbine runner. As the key equipment in water power generation, the working stability of water turbine is directly related to the safe operation and economic benefit of the power station. However, the problem of turbine runner blade crack has been an important challenge in this field. This paper analyzes the causes of crack, including stress factors, sediment loss, overload work, etc., and then introduces the crack detection technology, such as ultrasonic detection, penetration detection, etc., and expounds the crack repair technology, including grinding treatment, carbon arc gas planing treatment, all heat treatment welding repair, etc. Through these technical means, the service life and working efficiency of the turbine runner can be effectively improved.

Keywords: water turbine; wheel maintenance; crack detection; crack repair

水轮机是水利发电的核心设备之一，其转轮叶片作为关键部件，承担着将水流能量转换为机械能的重要任务。然而，由于受力复杂、工作环境恶劣等因素，转轮叶片容易出现裂纹，这不仅影响了水轮机的工作效率，还可能引发安全事故。因此，研究水轮机转轮检修中的裂纹检测与修复技术，对于保障电站的安全运行和提高经济效益具有重要意义。

一、裂纹产生的原因分析

（一）受力因素的影响

水轮机转轮叶片在工作过程中，始终置身于一个极其复杂且多变的力学环境中。它们不仅要承受来自水流的巨大冲击力，这种冲击力往往随着水流的流速、流量以及压力的变化而波动，给叶片带来持续且不均匀的负荷；同时，还要应对机械传动系统所带来的各种机械力，包括旋转时的离心力、叶片与转轮座之间的摩擦力以及因振动而产生的动态应力等。这些复杂的受力情况，无疑对水轮机转轮叶片的材料强度和结构稳定性提出了极高的要求。当水流力或机械力的强度超过叶片材料的承受极限时，叶片就可能出现局部应力集中现象。随着时间的推移，这种应力集中会逐渐累积并导致材料内部的微观结构发生变化，如晶粒错位、微裂纹萌生等。一旦这些微裂纹扩展到一定程度，就会在叶片表面或内部形成可见的宏观裂纹。因此，受力因素是影响水轮机转轮叶片裂纹产生的主要原因之一，必须在水轮机设计和运行维护过程中给予高度重视[1]。

（二）泥沙对转轮的损耗

在自然界的水体中，往往含有一定量的泥沙和其他杂质。当这些含有泥沙的水流通过水轮机时，泥沙颗粒会与转轮叶片发生频繁的碰撞和摩擦。这种物理作用不仅会导致叶片表面的材料逐渐磨损，还会在叶片表面形成微小的划痕和凹坑。随着时间的推移，这些微小的划痕和凹坑会逐渐扩大和加深，从而进一步加剧叶片的磨损程度。同时，由于泥沙颗粒的硬度和形状各异，它们在与叶片碰撞时还可能产生冲击力，导致叶片局部受到较大的应力。这种应力在叶片内部积累，最终可能引发裂纹的产生[2]。此

作者简介：袁飞（1991.09-），男，汉族，贵州省遵义市人，大专，助理工程师，研究方向：水轮发电机组检修。

外，泥沙的沉积也可能对叶片造成不利影响。沉积在叶片表面的泥沙会增加叶片的重量和负荷，导致叶片更容易出现疲劳和损伤。因此，泥沙对转轮的损耗是水轮机裂纹产生的一个重要原因，需要采取有效的措施来减少泥沙对叶片的磨损和冲击。

（三）超负荷工作

在追求高效能源利用和最大化发电量的背景下，水电站有时会选择让水轮机在超负荷状态下运行。这种超负荷工作模式虽然能够短期内提升电站的工作效率，但却对水轮机转轮叶片造成了极大的压力。超负荷运行时，水轮机转轮叶片需要承受比设计值更高的水流冲击力和机械应力。这些额外的应力超出了叶片材料的正常承载范围，导致叶片内部微观结构发生不可逆的变化，如晶粒间滑移、材料疲劳等。随着时间的推移，这些微观损伤逐渐累积，最终在叶片表面或内部形成宏观裂纹。此外，超负荷工作还可能加速叶片的磨损和老化过程，进一步降低其使用寿命[3]。因此，虽然超负荷运行能够带来短期的经济效益，但从长远来看，它会对水轮机造成严重的损害，甚至引发安全事故。因此，水电站应合理规划运行计划，避免水轮机长时间处于超负荷状态。

二、裂纹检测技术

（一）超声波检测

超声波检测是一种非破坏性检测技术，广泛应用于各种工业领域的裂纹检测中。其原理是利用超声波在介质中传播时遇到不同界面会产生反射、折射和波形转换等特性，来检测工件内部的缺陷。在水轮机转子叶片的裂纹检测中，超声波探伤方法因其对裂纹等面积型缺陷的高检出率而备受青睐。特别是对于铸钢制的水轮机转子叶片，由于其厚度较大且内部结构复杂，传统的检测方法往往难以达到理想的检测效果。而超声波检测则能够穿透较厚的工件，准确检测出叶片内部的裂纹情况。在实际操作中，检测人员通常会先使用低频探头对叶片进行初步检测，以大致确定裂纹的位置和范围。随后，再使用高频探头对疑似裂纹区域进行更精确的定量检测，以获得裂纹的具体尺寸和形状等信息。这种方法不仅提高了检测的准确性，还为后续的修复和维护工作提供了有力的支持[4]。

（二）渗透探伤

渗透探伤作为一种传统的无损检测技术，因其方法简单易行、结果直观明了而广泛应用于各种工业检测中。该方法主要利用特定的渗透剂，如荧光渗透剂或着色渗透剂，对工件表面进行涂覆。当渗透剂接触到工件表面的开口缺陷（如裂纹、气孔等）时，会迅速渗入缺陷内部。在水轮机等大型和不规则形状工件的裂纹检测中，渗透探伤技术展现出了独特的优势。检测人员只需将渗透剂均匀涂覆在工件表面，等待一段时间后，使用清洗剂去除表面多余的渗透剂，再施加显像剂。这样，缺陷内部的渗透剂就会在显像剂的作用下显现出来，形成清晰的缺陷图像。然而，值得注意的是，渗透探伤方法只能检查表面开口的缺陷，对于埋藏较深或闭合的裂纹则无法有效检测。因此，在实际应用中，检测人员需要根据工件的具体情况和检测要求，选择合适的检测方法和工具，以确保检测的准确性和可靠性[5]。

三、裂纹修复技术

（一）磨削处理与碳弧气刨处理

在水轮机转轮叶片的裂纹修复过程中，磨削处理和碳弧气刨处理是两种常用的方法。这两种方法的选择主要取决于裂纹的大小和深度。对于较小的裂纹，磨削处理是一种高效且经济的选择。检测人员可以使用专业的磨削工具，如砂轮或磨光片，对裂纹区域进行精细的打磨。通过逐层去除裂纹周围的材料，可以有效地消除裂纹并恢复叶片表面的平整度。这种方法不仅操作简单，而且对叶片材料的损伤较小。然而，对于较大的裂纹，特别是那些深度较大的裂纹，磨削处理可能无法满足要求。此时，需要采用碳弧气刨处理方法。这种方法利用高温的碳弧来熔化并去除裂纹及其周围的材料。通过多次碳弧气刨处理，可以逐步消除裂纹并形成一个相对平滑的修复面[6]。虽然这种方法对叶片材料的损伤较大，但它在处理大型裂纹时具有更高的效率和可靠性。

（二）全体热处理焊补

全体热处理焊补技术是一种高效且可靠的裂纹修复方法，尤其适用于小型水轮机转轮的裂纹修复。在进行补焊时，技术人员会采用常规的焊接技术，对裂纹区域进行精确的焊接修补。这一步骤不仅要求焊接技术熟练，还需要对焊接参数进行严格控制，以确保焊接质量和修补效果。完成焊接后，为了进一步提升修补区域的金属结构机能，并减小焊接过程中产生的残留应力，技术人员会对整个转轮进行热处理。热处理过程包括加热、保温和冷却等步骤，通过这些步骤可以有效地改善修补区域材料的微观结构，提高其力学性能和抗疲劳性能。值得注意的是，全体热处理焊补方法虽然效果显著，但其操作复杂且成本较高，因此更适用于小型转轮的裂纹修复[7]。对于大型转轮或裂纹情况较为复杂的转轮，可能需要考虑其他更为适合的修复方法。

四、裂纹修复工艺的精细性

（一）选择抗裂性能好的焊材

在水轮机转轮叶片的裂纹修复工艺中，焊材的选择扮演着举足轻重的角色。由于水轮机转轮叶片长期在恶劣环境下工作，既要承受巨大的水流冲击力，又要应对复杂的机械应力，因此，选择抗裂性能，尤其是抗疲劳损伤性能卓越的焊材，是确保修复后叶片强度和耐久性的关键。抗裂性能好的焊材在焊接过程中能够有效抑制裂纹的产生和扩展，这对于修补区域的完整性和稳定性至关重要[8]。同时，这些焊材还具备出色的力学性能和抗疲劳性能，能够在长期运行中持续承受复杂的水流力和机械力的作用，从而确保叶片的可靠性和安全性。在选择焊材时，技术人员必须综合考虑叶片的材质、裂纹的类型和位置，以及修复工艺的具体要求。通过深入分析和比较，选择出与叶片材料具有良好相容性和匹配性的焊材，以确保焊接接头的质量和性能。科学合理的焊

材选择不仅能够提高裂纹修复的质量和效果，还能为水轮机转轮叶片的长期稳定运行提供有力保障。

（二）清除干净所有缺陷

在进行水轮机转轮叶片的裂纹修复时，仅仅关注裂纹本身的处理是远远不够的。为了确保修复后的叶片能够恢复并超越原有的强度和耐久性，技术人员必须秉持严谨细致的态度，彻底清除掉坡口边缘的所有其它潜在缺陷。这些缺陷，无论是微小的裂纹、夹渣还是气孔，都可能在未来的运行中成为安全隐患，对叶片的整体性能构成威胁。因此，在处理裂纹的同时，技术人员必须利用放大镜、内窥镜等检测工具，对坡口边缘进行全方位的细致检查，确保不遗漏任何一处可能的缺陷。清除缺陷的过程需要借助专业的工具和设备，如砂轮、磨光机等。技术人员需要运用这些工具对坡口边缘进行精细的打磨和修整，直至所有潜在的缺陷都被彻底消除。这一步骤虽然耗时费力，但它是确保修复质量的关键所在，为后续的焊接和热处理工作奠定了坚实的基础[9]。只有经过这样严格的处理，修复后的叶片才能拥有足够的强度和可靠性，满足长期运行的要求。

（三）控制焊接缺陷

在裂纹修复的焊接过程中，对焊接参数的严格控制是确保修复质量的关键环节。焊接参数，包括焊接电流、电压、焊接速度以及焊接温度等，每一个细节都直接影响着焊缝的最终质量和性能。为了避免在焊接过程中产生新的缺陷，技术人员需要对这些焊接参数进行精确无误的设定，并在整个焊接过程中进行严格的监控和调整。通过细致地调整焊接电流和电压的大小，技术人员可以精准地控制焊缝的熔深和熔宽，从而确保焊缝具有足够的强度和良好的密封性。同时，合理的焊接速度和温度也是避免焊缝产生裂纹、夹渣、气孔等缺陷的重要因素。技术人员需要根据焊接材料的特性和焊接工艺的要求，选择适当的焊接速度和温度，以确保焊缝的成形质量和性能。此外，在焊接过程中，技术人员还需要保持高度的警惕性，密切关注焊缝的成形情况，及时发现并处理任何异常现象[10]。通过严格的焊接参数控制和精细的焊接操作，技术人员可以确保焊缝的质量达到设计要求，从而提高裂纹修复的整体效果，为水轮机转轮叶片的长期稳定运行提供有力保障。

五、结论

水轮机转轮叶片裂纹问题是水利发电领域的重要挑战。本文通过分析裂纹产生的原因，介绍了裂纹检测技术和修复技术，为水轮机转轮检修提供了科学依据和技术支持。通过合理的裂纹检测和修复，可以有效提升水轮机转轮的使用寿命和工作效率，保障电站的安全运行和经济效益。未来，随着技术的不断进步，裂纹检测和修复技术将更加智能化和高效化，为水利发电事业的发展提供更有力的保障。

参考文献

[1]高福林，王兴光. 盐锅峡水电站水轮机转轮磨蚀修复技术应用［J］. 水电站机电技术，2023,46(10):67-69.DOI:10.13599/j.cnki.11-5130.2023.10.021.

[2]张浩. 赵山渡水电站灯泡贯流式水轮机检修技术［J］. 水电站机电技术，2023,46(06):110-112.DOI:10.13599/j.cnki.11-5130.2023.06.036.

[3]赵杭. 基于流固耦合的超高水头冲击式水轮机转轮寿命预测研究［D］. 重庆科技学院，2022.DOI:10.27854/d.cnki.gcqkj.2022.000033.

[4]毛伟杰. 水轮机转轮故障诊断研究与应用系统集成［D］. 华中科技大学，2022.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.002931.

[5]岳林林. 混流式水轮机转轮叶道涡流动特性及结构动力学分析［D］. 华中科技大学，2022.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.005694.

[6]范鹏飞，杨庆山，占鹏. 碳化硅加热器在水电站水轮机转轮拆装中的应用［J］. 云南水力发电，2022,38(04):213-215.

[7]冯亚君. 混流式水轮机转轮下环螺旋密封流动特性及其对机组性能的影响研究［D］. 西安理工大学，2021.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2021.000556.

[8]何严希. 混流式水轮机空化流动特性与流固耦合研究［D］. 华中科技大学，2021.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2021.003470.

[9]袁帅. 多泥沙河流水电站水轮机转轮内部流动及磨损研究［D］. 西华大学，2019.DOI:10.27411/d.cnki.gscgc.2019.000008.

[10]庞希斌，彭硕群，祝加勇，等. 水泵水轮机转轮裂纹成因分析及处理［J］. 水电站机电技术，2019,42(02):51-54.DOI:10.13599/j.cnki.11-5130.2019.02.016.

国产设备在核电厂运行情况及故障分析

郭杰

大亚湾核电运营管理有限责任公司，广东 深圳 518124

摘　　要： 随着全球能源需求的不断增加和环保意识的不断增强，国家对清洁能源的需求日益增加。核电作为一种安全、高效、经济的能源形式，在国家能源战略中占有重要地位，然而，核电设备的稳定性和可靠性直接关系到核电厂的安全性和经济性，因此，保证核电设备的良好运行是核电发展的关键。近年来，我国在设备国产化方面取得了显著进展，国产设备在核电厂得到了越来越广泛的应用，本文进一步提出了一些改进建议，以期为进一步优化国产核电设备的设计和制造提供参考，提高核电设备的稳定性和可靠性，促进核电行业的健康发展。

关 键 词： 国产设备；核电厂；运行情况；故障分析

Operation situation and fault analysis of domestic equipment in nuclear power plants

Guo Jie

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract: With the increasing global energy demand and the increasing environmental awareness, the country's demand for clean energy is increasing. As a safe, efficient and economic energy form, nuclear power plays an important role in the national energy strategy. However, the stability and reliability of nuclear power equipment are directly related to the safety and economy of nuclear power plants. Therefore, ensuring the good operation of nuclear power equipment is the key to the development of nuclear power plants. In recent years, our country has made significant progress in the aspect of equipment localization, domestic equipment in nuclear power plant has been more and more widely used, this paper further puts forward some improvement Suggestions, in order to further optimize the design and manufacture of domestic nuclear power equipment to provide reference, improve the stability and reliability of nuclear power equipment, promote the healthy development of the nuclear power industry.

Keywords: domestic equipment; nuclear power plant; operation situation; fault analysis

引言

核电设备的稳定性和可靠性对于核电厂的安全运行至关重要，近年来，中国在核电设备国产化方面取得了显著进展。但在实际操作中，国产设备还是存在一些故障。因此，对核电厂国产设备的运行和故障进行分析，对于提高核电设备的质量和可靠性具有重要意义。

一、国产设备在核电厂的运行情况

（一）设备类型与分布

在核电厂中，国产设备应用广泛且多样化，它们分布在核电厂的所有关键系统中，共同维护核电厂的高效安全运行，国产设备主要涵盖反应堆堆芯部件、蒸汽发生器、主冷却剂泵、核燃料处理系统、安全壳系统、电气系统、控制系统和各种辅助系统。反应堆的核心部件，作为核电厂的心脏，国产反应堆压力容器和控制棒驱动机构已经高度国产化，并在多个核电厂项目中成功应用，如我国自主研发的CAP1400反应堆压力容器，在制造技术和材料选择上均达到国际先进水平，并在多个核电厂项目中投入运行[1]。作为热能转换的关键设备，国产蒸汽发生器在设计和制造方面也取得了显著进步，据统计，国产蒸汽发生器已经占据了我国核电市场的很大份额，并且在实际运行中表现良好，没有出现重大故障。主冷却剂泵负责将反应堆产生的热量传递给蒸汽发生器，是核电厂冷却系统的重要组成部分，国产主冷却剂泵在设计制造上已达到国际领先水平，其可靠性和耐久性已得到广泛认可[2]。

（二）运行效率和稳定性

据统计，国产反应堆压力容器在运行过程中的泄漏率极低，

作者简介：郭杰（1982.10-），男，汉族，江苏省南通市人，工程师，本科，核电厂运行。

远低于国际同类产品的平均水平，控制棒驱动机构在快速响应和精确控制方面也表现出色，确保了反应堆的安全运行。作为热能转换的关键设备，蒸汽发生器的运行效率直接影响核电厂的发电能力，国产蒸汽发生器在设计制造上充分考虑了热能转换效率和热损失控制，使其在实际运行中表现出较高的热效率，国产蒸汽发生器的热效率普遍达到90%以上，远高于国际同类产品的平均水平[3]。主冷却剂泵作为核电厂冷却系统的重要组成部分，其运行稳定性直接关系到反应堆的安全运行。此外，国产电气系统和控制系统在核电厂也有不错的表现，电气系统为核电厂提供稳定可靠的电源，保证各系统的正常运行，该控制系统实现了对核电厂各系统的精确控制和监控，提高了核电厂的整体安全性和运行效率[4]。

（三）维护与保养

国产设备的设计充分考虑了维护的便利性，比如反应堆压力容器、控制棒驱动机构等关键设备采用模块化设计，维修时更容易拆装，在设备的结构设计和材料选择上充分考虑了耐腐蚀、耐磨损、耐高温等性能，延长了设备的使用寿命。国产设备在制造过程中采用了先进的工艺和技术，保证了设备的制造质量和精度，这使得设备在实际运行中表现出很高的可靠性和耐久性，减少了设备故障造成的停机时间。国产设备配有完整的维护手册和专业的技术支持团队，这些手册详细描述了设备的维护流程、维护周期和故障排除方法，为操作人员的维护和保养提供了有力的指导，技术支持团队还为操作人员提供专业的培训和咨询服务，帮助他们更好地掌握设备维护和保养技能[5]。从实际运行数据来看，国产设备在维护方面也有不错的表现，国产设备的平均无故障时间(MTBF)普遍达到了数千小时以上，远高于国际同类产品的平均水平，设备的平均修复时间(MTTR)也很短，可以在短时间内恢复设备的正常运行。这有效地控制了设备维修成本，提高了核电厂的整体经济效益。

二、国产设备在核电厂的故障分析

（一）常见故障类型

在核电厂的运行过程中，机械故障是核电厂国产设备常见的故障类型之一，这种故障通常表现为设备机械部分的磨损、断裂和变形现象，导致设备无法正常运行，比如主冷却剂泵的轴承磨损，蒸汽发生器的管道泄漏，都属于机械故障的范畴，这些故障不仅会影响设备的运行效率，还会对核电厂的安全运行构成威胁。电气故障也是核电厂国产设备常见的故障类型，这种故障通常与设备的电气系统有关，如电机故障、电缆老化、接线松动等，电气故障可能导致设备无法启动、运行不稳定或突然停堆，对核电厂的正常运行造成很大影响。控制故障主要涉及设备的控制系统，这种故障可能是控制逻辑错误、传感器故障、执行器故障等原因造成的，控制失灵会导致设备无法按照预定程序运行，甚至可能导致安全事故[6-7]。

（二）故障原因分析

设备本身的设计、制造和安装是导致故障的重要原因之一，例如，设计缺陷可能导致设备运行过程中的应力集中和材料疲劳；制造工艺不良可能导致设备零件的尺寸精度和表面质量不符合要求；安装过程中的疏忽可能会导致设备部件之间的配合不良和紧固不牢固等问题。这些问题可能成为设备故障的潜在隐患。运行环境对核电厂国产设备的运行稳定性也有重要影响，核电厂的运行环境通常比较恶劣，包括高温、高压和高辐射，这些环境因素可能导致设备零部件加速老化、腐蚀和磨损，从而降低设备的可靠性和使用寿命。运维的因素也是国产设备故障的重要原因，操作人员的技能水平、操作习惯、维护的及时性和规范性都会影响设备的运行状态，比如操作人员对设备操作不当，可能造成设备损坏；维护不及时或不规范可能导致设备故障频发。此外，还有一些外部因素也可能导致核电厂的国产设备出现故障，如自然灾害(如地震、洪水等)和人为破坏，这些因素虽然罕见，但一旦发生，就可能对核电厂的安全运行造成严重影响[8]。

（三）故障处理和预防

在故障处理方面，需要建立完善的故障报告和诊断机制，当设备出现故障时，操作人员应及时报告并启动故障诊断程序，以便快速准确地确定故障原因和位置，然后根据故障原因，采取相应的修复措施，如更换损坏的零部件、调整设备参数等，在抢修过程中，应当严格遵守操作规程和安全规范，确保抢修工作的质量和安全。在故障预防方面，需要从多方面入手，要加强设备设计、制造、安装的质量控制，确保设备本身的质量和性能符合要求，要改善设备的运行环境，如加强冷却系统的维护，优化化学处理系统的运行参数，减少环境因素对设备的影响。此外，还应加强对操作人员的培训和管理，提高他们的技能水平和操作规范化程度，建立完善的设备维护制度，定期对设备进行检查、清洗、润滑和更换，以延长设备的使用寿命，降低故障发生的可能性。

三、改进建议

（一）提升设计与制造水平

在设备设计阶段，要充分考虑核电厂设备的高温、高压、高辐射等特殊运行环境，确保设备设计满足这些特殊环境的要求，设计团队应对设备的结构、材料、工艺等方面进行深入研究和分析，确保设备能够承受各种极端条件，并在运行过程中具有良好的稳定性和耐久性。在设备制造阶段，要注重制造过程的质量控制，这包括原材料的选择和检验，加工的精度控制，装配调试的严格控制。通过采用先进的制造技术和检测手段，确保设备的每一个部件都符合设计要求，从而提高了设备的整体质量和可靠性。此外，还可以借鉴国际先进的设计理念和制造技术，与国内外知名厂商合作，共同提高国产设备的设计制造水平，通过引进先进技术和管理经验，不断推动国产设备的技术创新和产业升级，更好地满足核电厂的运行需求。要注意设备设计的标准化和模块化，通过制定统一的设计标准和模块化设计，可以简化设备的制造和安装过程，降低生产成本，提高设备的可维护性和可升级性[9]。

（二）加强维护与保养

设备的维护是保证其长期稳定运行的重要环节，要建立完善的设备维护制度，这包括制定详细的维护计划，明确维护的内容、周期和方法，建立完善的维修记录制度，对每次维修进行记录和评估，以便及时发现和解决潜在问题。要注意维护的专业性和规范性，这就要求维修人员具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，能够准确判断设备的运行状态和隐患，要严格按照维修规程进行操作，确保维修质量和安全。此外，还可以采用先进的维护技术和手段，如智能维护系统、远程监控和诊断技术等，这些技术的应用可以实时监控设备的运行状态，及时发现和预警潜在故障，从而提高维护的效率和准确性。要注意设备维护的预见性和主动性，通过对设备的定期检查和评估，预测设备的使用寿命和潜在故障点，提前采取预防性维护措施，这样不仅可以减少故障的发生，还可以延长设备的使用寿命，降低维护成本。

（三）加强故障监测与诊断

对于核电厂的国产设备，加强故障监测和诊断有助于保证设备的安全稳定运行，要建立完善的故障监测系统，包括安装各种传感器和监控设备，实时监控设备的运行状态和参数变化，要建立数据分析系统，对监测数据进行实时分析处理，及时发现异常情况和潜在故障。要注意故障诊断的准确性和及时性，这就要求故障诊断人员具有丰富的实践经验和专业知识，能够准确判断故障的原因和位置，同时要建立完善的故障诊断流程和应急预案，确保在故障发生时能够快速反应，采取措施进行处理[10-11]。还可以采用先进的故障诊断技术和手段，如人工智能诊断系统、专家系统等，这些技术的应用可以实现设备故障的智能诊断和预警，提高故障诊断的准确性和效率。要注意故障监测和诊断的不断优化和改进，通过不断总结经验教训，引入新的技术和方法，不断完善故障监测诊断系统，提高设备的可靠性和安全性，应加强与国内外同行的交流与合作，共同推动故障监测与诊断技术的发展与创新。

四、结语

我国核能装备的自主研发工作必将面临着许多困难与挑战。然而，只要我们可以对国际核能的发展趋势和我们的核能发展的状况有一个全面的认识，就可以找到自己与核能发达国家的差距，进而可以人情自己的立场，主动进行研究，勇于进行创新，掌握目前核能大发展的有利时机，这样我们就可以将核电国产化的目标变成现实。我国核电工业的发展与壮大，刻不容缓！

参考文献

[1]龙强. 浅析核电厂运行人员防人因失误管理［J］. 城市建设理论研究(电子版),2022(33):1-3.

[2]艾路，刘龙. 核电厂运行安全常见问题及防控措施的探讨［J］. 城市建设理论研究(电子版),2022(33):7-9.

[3]刘飒，荣健，周钊正，陈薇，王丰，吴秀坤. 国产设备在核电厂运行情况及故障分析［J］. 中国核电，2020,13(04):477-480.

[4]许濛，周显壤，弭磊. 水电厂运行班组安全文化建设实践［J］. 电力安全技术，2023,25(01):28-31.

[5]沈江飞，张圣，喻昕，等. 核电厂核安全设备运行状态监测技术研究［J］. 价值工程，2024,43(28):14-18.

[6]宋怡. 基于贝叶斯分类的核电站泵类设备振动故障诊断方法［J］. 机械制造与自动化，2023,52(04):64-67.

[7]姚翀，陈齐清，姚照红，等. 核电厂运行人员防人因失误管理［J］. 中国核电，2010,3(03):263-269.

[8]朱勇，阎锋. 核电厂运行防人因失误管理探究［J］. 工程建设与设计，2020,(10):223-224.

[9]刘利光，程军. 防人因失误工具在核电运行中的应用［J］. 产业与科技论坛，2019,18(10):73-74.

[10]冯帅. 防人因失误工具在核电运行中的应用探讨［J］. 产业与科技论坛，2022,21(14):245-246.

[11]刘利光，程军. 防人因失误工具在核电运行中的应用［J］. 产业与科技论坛，2019,18(10):73-74.

电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对措施

张淞滔

国能吉林龙华热电股份有限公司白城热电厂，吉林 白城 137000

摘　　要： 电厂汽轮机作为电力生产的核心设备，油系统作为汽轮机的重要组成部分，为汽轮机各部件提供润滑、冷却和动力传递等功能，对汽轮机性能产生直接影响。在电厂汽轮机在实际运行过程中经常出现油系统故障，给电厂生产带来安全隐患，本文分析电厂汽轮机检修中油系统的常见故障类型、发生故障的原因、应对措施，旨在提高油系统运行的稳定性，保障汽轮机实现安全稳定运行，在降低故障发生率的基础上提高电厂整体的生产效率。

关 键 词： 电厂汽轮机检修；油系统；常见故障；应对措施

Common faults and countermeasures of oil system in the maintenance of steam turbine in power plant

Zhang Songtao

National Energy Jilin Longhua Thermal Power Co., LTD. Baicheng Thermal Power Plant, Baicheng, Jilin 137000

Abstract: As the core equipment of electric power production, and as an important part of the steam turbine, the oil system provides lubrication, cooling and power transfer for all components of the steam turbine, and has a direct impact on the performance of the steam turbine. In the power plant turbine in the actual operation of oil system failure, bring safety hazard to power plant production, this paper analyzes the common failure type, the cause of the failure, measures to improve the stability of the oil system operation, ensure the safe and stable operation of the turbine, and reduce the incidence of failure on the basis of improving the overall production efficiency of the power plant.

Keywords: steam turbine maintenance of power plant; oil system; common faults; countermeasures

引言

电厂汽轮机稳定运行对电力生产至关重要，但由于汽轮机长期处于高强度且不停歇的工作状态，运行环境也比较恶劣，时常面临各类故障。在电厂汽轮机常见故障中，DEH油系统（数字电液控制系统）故障和EH油系统（高压抗燃油系统）故障比较突出，同时存在油系统进水与零部件磨损等故障，影响汽轮机的正常运行。针对电厂汽轮机检修中油系统常见故障，需要采取针对性解决措施，有效提高汽轮机油系统的安全运行，从而保障电厂的正常运营。

一、电厂汽轮机油系统概述

电厂汽轮机油系统是汽轮机设备中一个重要的组成部分，可以称之为汽轮机的“血液”系统，给汽轮机高效运行提供保障。油系统主要是由多个部分协同构成，油泵是油系统的动力核心，在汽轮机转动下将机械能转化为液压能，为整体油系统提供具有一定压力的油液支持[1]。油箱是汽轮机油系统中油液的储存容器；冷油器通过热交换原理将汽轮机运行中升温的油液冷却到合适的油温，防止油温过高导致油质劣化等问题；滤油机主要功能是去除油液中的杂质，进而保证油液进入轴承等关键部位时具备足够的清洁度；调速系统油路通过控制油流量和压力的方式调整汽轮机的实际转速；保护装置油路则在汽轮机出现异常情况时迅速动作。以上任何一个环节出现问题都会对系统运行产生影响，需要高度重视。

二、电厂汽轮机检修中油系统常见故障

（一）DEH油系统故障

当DEH油系统中油箱油位过低时，可能导致汽轮机各个部件不能获得充分的润滑，也没有实现充分的冷却，从而增加汽轮机各部件之间的摩擦，降低汽轮机整体使用寿命。如果油位过低也会影响DEH系统的实际控制精度，容易出现汽轮机转速不稳定的情况，影响电力生产稳定性[2]。同时，DEH油系统温度异常也会造成一系列的故障，如温度过高会导致伺服阀响应迟缓，

作者简介：张淞滔（1997.07-），男，汉族，吉林省白城市，本科，中级工程师，研究方向：发电厂汽轮机检修（水泵检修）。

严重影响汽轮机的调节性能。压力开关也会因为油温过高出现失灵问题，不能准确检测系统压力，这样容易出现汽轮机保护功能失效。

（二）EH油系统故障

当EH油系统出现油温过高或者油位过低，也会对汽轮机正常运行造成危害。其中，油温过高会使EH油的黏度降低，油膜变薄，降低润滑效果，这样就导致各部件之间磨损情况加剧。当油温从50℃升到70℃时，油液的黏度会降低10%以上，汽轮机的轴承与轴径之间的摩擦系数增加，出现更加严重的磨损情况。油温过高也会加速EH油的氧化，容易产生酸性物质，也会出现沉淀物，腐蚀汽轮机系统中的金属部件，然后出现系统故障[3]。油位过低也会导致汽轮机供油不足，油动机等部位不能正常工作。例如，当油位下降到一定程度时，油动机不能正常实现阀门的开启与关闭操作，对汽轮机调节性能造成影响。此外，EH油系统中油动机开阀门失效是一种常见的故障，故障发生后导致汽轮机不能正常调节负荷，对电力生产的稳定性造成影响。

（三）其他故障

一方面，油系统进水。当水进入油系统后与油混合会使油发生乳化，降低油的抗氧化性能，不能在轴承与轴径之间形成稳定的油膜保护，轻则增加摩擦系数，重则引发轴承烧瓦等系统故障，影响汽轮机的生产效率。另一方面，零件磨损对油系统运行有着重要影响，导致油系统的密封性下降，进而容易出现油泄漏的运行风险。例如，系统轴承与零件之间接触会导致零部件磨损，进而影响轴承与零件之间的配合精度，出现油系统压力下降的问题。

三、电厂汽轮机检修中油系统常见故障的原因分析

（一）水质问题

电厂循环水或其他水源中的杂质可能会进入油系统，尤其是当冷油器等设备发生泄漏时，水汽会和系统中的油液接触，在管道内壁上逐渐沉积。在高温高湿的环境下，沉积物与氧气、水分发生化学反应产生酸性物质，对系统管道材料造成腐蚀[4]。例如，水中含有钙等矿物质，在高温作用下容易形成碳酸钙等沉淀物，沉淀物不仅会降低管道流通面积，也会与二氧化碳反应生成酸性物质，对金属管道造成腐蚀，导致汽轮机性能下降。同时，这些腐蚀物也会跟随油的循环实现系统内部的进一步扩散，出现堵塞滤网等问题，影响油液流动效果，进而引发一系列油系统故障，如铁锈颗粒导致伺服阀芯卡涩，对调速系统造成负面影响。

（二）元件损坏

油系统中的各种元件在长期运行过程中会受到多种因素影响出现损坏情况，对油系统运行造成负面影响。具体有以下几种情况：

（1）油液中杂质颗粒刮擦导致油泵零部件表面磨损油泵磨损，造成输出压下降，流量减少，容易引发油温升高；油泵频繁启动停止或长期高负荷运行，交变应力损坏零部件，汽轮机停机，断裂部位可能堵塞油道。

（2）油液中杂质冲刷，调节阀的阀芯运动摩擦，造成调节阀控制精度降低，导致汽轮机转速波动；调节阀的密封件安装不当，长期受到高温高压影响，造成调节阀泄漏，影响流量控制，可能引发火灾。

（3）伺服阀的线圈过热损坏绝缘层，电磁干扰，不能准确执行控制信号；油液中杂质附着，氧化物堵塞，造成伺服阀阀芯卡涩，无法正常调节油液流量。

（4）有杂质进入活塞与缸筒间隙，造成油动机活塞卡涩，不能正常运作，影响汽轮机调速；疲劳应力，外力冲击带来的碰撞，造成油动机活塞杆断裂，油动机完全失效，使汽轮机阀门无法正常控制。

（三）运行环境

运行环境是影响电厂汽轮机油系统正常运行的重要因素，涵盖温度、湿度以及灰尘杂质污染等方面，对汽轮机油系统稳定性产生影响，具体见表1。通过了解运行环境对油系统造成的影响，有利于采取有效的预防措施，这样能保障电厂汽轮机安全运行。

表1 电厂汽轮机油系统运行环境影响分析表

具体因素	对油液的影响	对设备部件的影响
高温	降低油液黏度，加快氧化变质	非金属部件热老化，金属部件热膨胀，密封性能下降
低温	黏度增大，导致油泵启动较困难	金属部件韧性降低，影响调节阀等操作动作的灵活性
高湿度	水分进入油系统，油液乳化，加快对金属部件的腐蚀	增加设备故障发生率，例如出现轴承磨损或者管道破裂等故障
低湿度	非金属部件失水硬化或者开裂	静电问题可能引发火灾
灰尘及杂质污染	对油液造成污染，出现黏度与酸值变化，油液浑浊	加速设备磨损，出现堵塞油道、过滤器、伺服阀等设备的问题

四、电厂汽轮机检修中油系统常见故障的应对措施

（一）处理DEH油系统故障

DEH油系统作为汽轮机控制系统的关键组成部分，在处理DEH油系统故障时应该积极引入高新技术，借助智能监测技术实时掌握油系统运行状态，实现对系统运行故障的精准定位。

1.运用智能监测技术精准定位故障

在油泵出口、油动机、调速阀等位置安装高精度的传感器，实时采集油系统的运行参数，将采集到运行数据传输到智能监测系统。智能监测系统利用大数据技术对采集到的数据进行对比分析，通过建立正常运行状态模式的方式快速识别各项参数出现的异常变化[5-6]。例如，当汽轮机油系统中油温突然升高且超过正常范围时，系统自动判断可能存在冷却系统故障等问题，及时发送预警信号，提高系统故障分析效果。

2.针对油位过低故障的处理措施

一是利用超声波检测等先进无损检测技术对油系统的管道、接头、阀门、密封件等部位进行全面细致的检测，通过全面排查泄漏点的方式快速准确定位泄漏点。针对泄漏点，可以使用堵漏

剂或者密封胶进行临时修复；针对较大的泄漏点，应该停机后更换损坏的部件，按照安装工艺要求开展零部件安装与密封测试，在保证修复效果后开机工作[7]。二是定期对冷油器进行检查，保障冷却效果符合汽轮机正常运转的需求。在监测冷油器进出口水温、油温、流量等参数之后，全面分析冷油器的换热效率，当发现冷油器管束泄漏时要第一时间进行停机检修，按照技术标准更换管束。三是优化油箱排污管理。需要安装智能排污控制系统，根据油箱内油液的杂质含量、含水量等指标自动控制排污门的开启与关闭时间，这样能避免因为误开排污门导致的油位过低问题。

3.解决油温异常故障的方法

针对油温过高问题，需要检查冷水泵的运行状态，定期清洗冷却水泵的叶轮和进出口管道，这样能保障风机正常运行，保障冷却系统的运行效率。针对管道中存在的结垢问题，可以采用高压水冲洗或者化学清洗等方式进行清理，在恢复管路流通面积的基础上提高冷却效果。针对油温过低问题，可以安装智能流量调节阀，根据油温传感器信号对冷水量进行自动调节，当油温过低时自动减少冷却水量，实现提高油温的处理目标。也可以对冷却水管路进行保温处理，通过包裹岩棉等保温材料降低管路的散热损失，这样能确保进入冷却器的水温不会过低[8]。

（二）处理 EH 油系统故障

1.安装在线监测系统

在 EH 油系统中安装在线监测系统，借助压力传感器等先进传感器实时监测油系统的运行参数，借助数据分析软件对监测数据进行分析。同时要关注故障诊断算法的运用，在识别异常数据模式之后与已知的故障模式进行对比，这样能快速准确诊断出故障类型，也能精准找到故障位置。

2.系统泄漏检查

对 EH 油系统进行全面的泄漏检查，使用超声波检漏仪等专业检测泄漏工具，检查管道连接处、阀门密封面、油泵轴封等部位的密封性。当发现泄漏点时要及时采取修复措施，通过更换损坏的密封件等方式提高密封性，避免在修复后出现泄漏问题[9]。

（三）预防性应对措施

1.优化油系统设计

需要根据汽轮机运行参数确定油系统的容量、压力、流量等参数，保障油系统可以保证汽轮机正常运作的需求。同时要选择可靠性较高的油泵、阀门、伺服阀等设备，确保这些设备能在长期运行中保持良好的工作状态，减少油系统故障发生。

2.重视开展油质管理

电厂需要采购符合标准的油液，严格检查黏度、闪点、酸值、水分、颗粒度等指标，只有质量检测合格之后才能入库使用。同时要采用有效的油液净化处理技术去除油液中的杂质、水分和污染物，也要定期对油箱与管路进行清洗，这样能保持油系统的清洁程度[10]。

3.提升设备维护水平

电厂应该根据油系统设备制定详细的维护计划，维护人员需要检查设备的运行状态、温度、压力、油位、油质等参数，针对出现的异常情况制定合理的解决措施，保证油系统的安全稳定运行。

五、结论

电厂汽轮机油系统是一个复杂而又关键的系统，由多个部分组成，在协同工作基础上实现油液的循环、处理与供应，这样能给汽轮机正常运行提供支持。在电力生产过程中，油系统通过提供润滑、冷却、调速与保护等功能，可以保障汽轮机各项设备的使用寿命，进而实现汽轮机的高效运行。所以在电厂生产过程中应该高度重视汽轮机油系统的运行管理，采取有效措施保证汽轮机在最佳状态下运行，以此实现为电力生产提供坚实保障的目标。

参考文献

[1]张继新. 电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析［J］. 智能城市，2020,6(11):109-110.

[2]陈源. 简谈电厂汽轮机检修中油系统常见故障［J］. 中文科技期刊数据库（引文版）工程技术，2023(7):17-19.

[3]王华杰，邹继尧. 分析电厂汽轮机检修中油系统常见故障及应对［J］. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术，2022(6):213-215.

[4]薛龙. 分析电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对［J］. 冶金与材料，2022,42(2):97-98.

[5]刘秋华. 探讨汽轮机检修中油系统常见故障与应对策略［J］. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术，2021(9):121-122.

[6]黎清华，李少君. 电厂汽轮机检修中的精细化管理分析［J］. 电子技术，2020,49(12):148-149.

[7]鲁迎龙. 电厂汽轮机检修及维护技术要点分析［J］. 设备管理与维修，2022,(14):64-65.

[8]李伟斌. 电厂汽轮机检修及维护技术要点分析［J］. 科学技术创新，2017,(31):34-35.

[9]李阳. 火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析［J］. 中国设备工程，2021,(12):266-267.

[10]欧阳严飞. 电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对［J］. 山东工业技术，2017,(14):165.