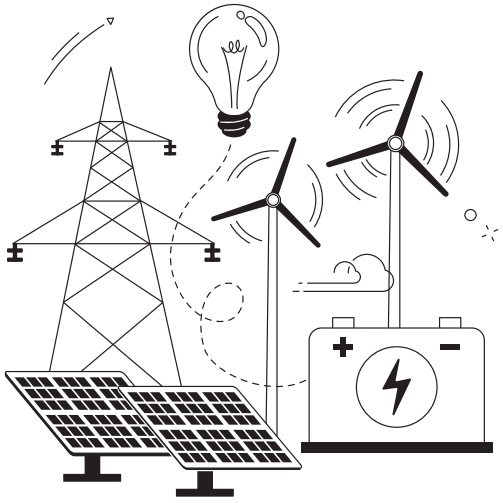
电力技术与安全管理

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.

电力技术与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management

第1卷 第4期　2024年7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。

目录 CONTENTS

电力工程 | POWER ENGINEERING

005　**电力工程施工中的成本控制与效益分析**　**艾力·马木提**
Cost Control and Benefit Analysis in the Construction of Electric Power Engineering　Eli·Mamuti

008　**风力发电与光伏发电的协调运行优化研究**　**张权胜**
Research on the Optimization of the Coordinated Operation of Wind Power Generation and Photovoltaic Power Generation　Zhang Quansheng

011　**家庭节能管理控制研究**　**周洪儒，石德刚，黄精，刘超**
Research on Household Energy-Saving Management Control　Zhou Hongru, Shi Degang, Huang Jing, Liu Chao

014　**电气工程中基于智能技术的新型电力系统设计与优化研究**　**戴兴良**
Research on Design and Optimization of New Power System Based on Intelligent Technology in Electrical Engineering　Dai Xingliang

017　**浅谈电力工程 EPC 总承包设计管理**　**王岳华**
Discussion on EPC General Contracting Design Management of Electric Power Engineering　Wang Yuehua

电力系统 | POWER SYSTEM

020　**电气自动化技术在电力系统中的应用探析**　**吴黄钰**
Exploration on the Application of Electrical Automation Technology in Power Systems　Wu Huangyu

023　**自动化技术在电力系统故障恢复中的应用**　**叶荠**
Application of Automation Technology in Power System Fault Recovery　Ye Pei

026　**储能技术在新能源电力系统中的应用研究**　**刘培良**
Research on the Application of Energy Storage Technology in New Energy Power System　Liu Peiliang

029　**新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化**　**林全睿**
Intelligent Monitoring and Operation Optimization of Power Grids in New Energy Power Generation Systems　Lin Quanrui

032　**发电厂热控 PLC 系统抗干扰策略探讨**　**唐荣伟**
Discussion on Anti-interference Strategies for Thermal Control PLC Systems in Power Plants　Tang Rongwei

035　**智能电网中分布式能源的接入及优化控制策略研究**　**李文涛**
Research on the Access and Optimization Control Strategy of Distributed Energy in Smart Grid　Li Wentao

038　**基于人体感知的电梯外呼自动取消系统：设计与实现**　**李保[1]，王靖绚[2]**
Elevator External Call Auto-Cancellation System Based on Human Perception: Design and Implementation　Li Bao[1], Wang Jingxuan[2]

041　**超临界汽轮机热力循环系统的优化与节能分析**　**阳静**
Optimization and Energy Saving Analysis of the Thermal Cycle System of Supercritical Steam Turbine　Yang Jing

技术研究 | TECHNOLOGY RESEARCH

044 火电厂锅炉排放标准及控制技术研究 — 彭召润
Research on Emission Standards and Control Technologies of Boilers in Thermal Power Plants — Peng Zhaorun

047 火电厂锅炉燃烧过程优化与排放减少策略 — 王小丰
Strategies for Optimizing the Combustion Process and Reducing Emissions in Thermal Power Plant Boilers — Wang Xiaofeng

050 基于智能算法的火力发电厂运行优化与调整研究 — 路修远
Research on Operation Optimization and Adjustment of Thermal Power Plant Based on Intelligent Algorithm — Lu Xiuyuan

054 潮间带风电场浅滩机位施工方案探讨 — 苏小冬
Discussion on Construction Scheme of Shallow Position in Intertidal Wind Farm — Su Xiaodong

057 欧洲先进压水堆机组 GRE 负荷速降研究及处理 — 黄荣飞，任江
Study and Treatment of GRE load Speed Drop in European Advanced Pressurized Water Reactor Unit — Huang Rongfei, Ren Jiang

060 运行隔离在大修主机检修中安排研究及优化实践 — 胡诗毅
The Schedules Research and Optimization Practices of the Operational Isolation in Overhaul Host Maintenance — Hu Shiyi

063 核电厂蒸发器水压试验管板加热工艺的研究与应用 — 程钢，叶金梁，冉威，刘伯欢，詹震宇
Research and Application of Heating Process of Evaporator in Nuclear Power Plant — Cheng Gang, Ye Jinliang, Ran Wei, Liu Bohuan, Zhan Zhenyu

066 欧洲压水堆先进机组 TEP 除盐水补给的研究分析 — 任江，黄荣飞
Research and Analysis on Tep Desalination Water Supply for Advanced Pressurized Water Reactor Units in Europe — Ren Jiang, Huang Rongfei

069 典型 3D 封装器件内部金凸点开裂分析 — 赵永志，张震，柳溪溪
Cracking Analysis of Gold bumps inside a Typical 3D Packaged Device — Zhao Yongzhi, Zhang Zhen, Liu Xixi

072 人工智能技术在电力线损治理中的创新应用与效果评估 — 熊志远[1]，邬洪飞[2]，陈海胜[3]，俞杰杰[4]
Innovative Application and Effect Evaluation of Artificial Intelligence Technology in Power Line Loss Management — Xiong Zhiyuan [1], Wu Hongfei [2], Chen Haisheng [3], Yu Jiejie [4]

075 配电网线损管理关键技术研究及案例分析 — 张忠静[1]，蔡永翔[2]，党剑亮[3]
Research on Key Technologies and Case Analysis of Line Loss Management in Distribution Network — Zhang Zhongjing[1], Cai Yongxiang[2], Dang Jianliang[3]

078 基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略探索 — 顾平平
Exploration of boiler combustion optimization strategy based on big data analysis — Gu Pingping

081 智能电网电力拖动控制技术研究与应用 — 武庭萱
Research and Application of Smart Grid Power Drag Control Technology — Wu Tingxuan

084 小电流断路器梅花触头更换专用工具研制技术 — 宾啸，王闯，马博鸣
Research and Development of Special Tool for Replacing Small Current Circuit Breaker Flox Contacts — Bin Xiao, Wang Chuang, Ma Boming

087 先进自动化控制技术在工业电气系统中的应用 — 万鹏[1]，夏文祥[2]
Application of Advanced Automation Control Technology In Industrial Electrical System — Wan Peng[1], Xia Wenxiang[2]

安全管理 | SAFETY MANAGEMENT

090 农配网工程安全质量管理的现状与挑战 — 牙里坤·苏力坦
The Current Situation and Challenges of Safety and Quality Management of Agricultural Distribution Network Engineering — Yalikun·Sulitan

093 风险控制在核电厂安全管理中的运用研究 — 姚山进
Research on the Application of Risk Control in Nuclear Power Plant Safety Management — Yao Shanjin

096 浅谈电力安全评价程序的优化 — 王海明
On the optimization of Safety Evaluation Procedure — Wang Haiming

099 燃机电厂安全管理研究 — 朱怡霖，潘姜冬，张璐瑶
Research on safety management of gas turbine power plant — Zhu Yilin, Pan Jiangdong, Zhang Luyao

103 发电厂安全管理体系优化探索 — 王涛
Exploration of Optimization of Safety Management System in Power Plants — Wang Tao

电力工程施工中的成本控制与效益分析

艾力 · 马木提

新疆喀什电盛有限责任公司，新疆 喀什 844000

摘　　要： 随着我国电力工程建设的迅速发展，对其进行造价管理的研究也日益引起人们的重视。工程造价控制是建设工程建设管理的一个关键环节，它直接关系到建设单位的市场竞争力，保证工程质量，推动电力企业持续健康发展。在此基础上，以电力工程建设工程造价控制的重要性为基础，以电力工程建设工程造价管理的主要内容为切入点，对影响其经济效益的因素进行了研究，并给出了相应的控制对策。

关 键 词： 电力工程；施工；成本控制；效益

Cost Control and Benefit Analysis in the Construction of Electric Power Engineering

Eli · Mamuti

Xinjiang Kashgar Diansheng Co., Ltd. Kashgar, Xinjiang 844000

Abstract: With the rapid development of electric power engineering construction in China, the research on cost management has attracted more and more attention. Project cost control is a key link in the construction management of construction projects, which is directly related to the market competitiveness of construction units, ensuring the quality of projects, and promoting the sustainable and healthy development of power enterprises. On this basis, based on the importance of cost control of electric power engineering construction projects, and taking the main content of electric power engineering construction project cost management as the starting point, the factors affecting its economic benefits are studied, and the corresponding control countermeasures are given.

Keywords: power engineering; construction; cost control; benefit

引言

电力工程项目成本管理是一种动态的、全方位的管理活动，它是从规划、决策到竣工验收的全过程成本管理。通过对施工过程中的控制、协调、监督和评估等环节的控制，使施工费用降到最低。并能为业主节约资金，创造较好的经济效益。本文通过分析电力工程施工中成本控制存在的问题和影响因素，提出了相应的改进措施，在确保施工质量的同时，还要对施工费用进行有效的控制，以实现最大的投资收益，旨在提高电力工程建设项目造价管理水平。

一、电力工程的成本控制概述

电力工程造价控制就是在施工全过程中，对各种资源的合理分配与使用。工程造价管理的目标包括人力、物力、财务等各种资源。在电力工程建设中，建设单位通过对有关费用的有效控制，能够使企业的生产和运营费用得到最大限度的降低，从而使公司的总体经济效益得到最大的提升[1]。

二、电力工程施工中的效益影响因素

（一）成本因素

（1）投资成本：在电力工程施工中，投资费用是影响其经济效益的关键因素。如果投资规模继续扩大，将大大加重企业的财政负担，并不利于企业的经济效益。在这种情况下，如何对企业的投资成本进行有效的管理与控制，是提高企业总体经济效益的重要途径。一个合理的工程投资费用控制战略，可以保证工程的质量和收益，使工程在市场竞争中处于优势，获得可持续发展的优势。

（2）运维成本：在电力工程建设中，运营费用一般是指电力设备运营与维修期间所发生的费用。这其中包含但不局限于设备的常规维护、人员成本、运营过程中的能耗和有关的修理维护。一般来说，运营费用越高，经济效益就越低。

（二）收益因素

（1）输电收益：电力工程是现代化建设中必不可少的一项

作者简介：艾力·马木提（1972.03-），男，维吾尔族，新疆维吾尔自治区泽普县人，大专，研究方向：电力工程施工。

重要基础设施，其经济效益在很大程度上来自输电环节。通过持续提高输送能力、优化输送效率，可有效提高输送环节的经济效益，从而使整体电网获得更大的经济效益。这对于提高我国电力市场的发展水平、提高能源利用率、改善环境质量具有重要意义。

（2）节约煤炭收益：世界能源变革的大潮中，以煤为代表的一系列节能减排措施已成为推动我国清洁能源发展的重要动力。这不但降低了对煤炭的依赖，而且具有明显的经济效益和环保效益。虽然这些节省的煤不会直接给电力输送带来额外的收益，但是，这对于减少整个社会的能量消耗是非常重要的。同时，这样的节省也可以促进能源利用的效率，促进更加有效和可持续的能源供给方式[2]。

（三）环境效益影响因素

（1）电能替代效应：电力工程是一种以电代煤，以电代油，以电代薪，以电代替传统的煤、油、木等能源。电力的大量使用使其环保、可持续发展具有重要意义。特别是，通过电力替代，可以有效地减轻燃煤、燃油等燃煤造成的空气污染，从而有效地减少温室气体的排放，从而达到减排、应对气候变化的目的。

（2）节能减排技术：电力工程建设的每一个阶段，采用节能减排技术，不但可以有效地节约能耗，而且可以大幅度地降低污染物的排放量，从而提高环境效益。主要内容包括：采用高效节能的施工机械，优化建筑场地的能耗，并将环境保护的观念融入建设管理之中[3]。

（四）社会效益影响因素

（1）电力消费用户需求：用电客户的特定需要与多元的用电结构，深刻地影响着供电量及其组成。随着我国经济的发展与社会的发展，人民对用电的需求越来越大，而用电的结构也越来越多样化，二者相互影响，促进了供电市场的拓展与技术的革新。电力供给的不断增加，不但可以降低能源消耗，提高生产效率，也可以为我国的经济发展提供新的思路和方法。另外，丰富的电力供给也将带动相关行业的发展，进而产生更大的社会效益[4]。所以，无论在经济上，还是在社会上，保证供电的稳定性和安全性，都是非常重要的。

（2）区域经济发展：成功投产的电力工程，不但可以带动土地增值，还可以延长产业链，扩大市场需求，对当地各行业的经济发展起到积极的带动作用。这样的经济增长，既能提高人们的生活质量，又能提高社会的总体福利，为实现社会的和谐稳定和可持续发展打下了良好的基础[5]。

（3）就业人口：在电力工程的宏伟蓝图上，既有巨大的建设投入，又有大量的人力资源支撑。输电工程是电网中最重要的一环，它与许多产业有着天然的联系，构成了一个庞大的就业市场。这一劳动力市场为本地人提供了一个稳定的工作岗位，同时也为本地的劳动力市场带来了很大的帮助。伴随着一批又一批工程的实施与竣工，带动了相关行业的蓬勃发展，带来了巨大的社会效益[6]。它既能促进经济的发展，又能增强社区的凝聚力，改善居民的生活品质，是推进社会和谐发展的一股不可忽视的力量。

（五）技术因素

（1）施工技术水平：电力工程建设的质量和效率直接关系到工程能否按期完工，同时也是评价建筑企业竞争能力的一项关键指标。随着科学技术的发展与革新，在电力工程中也得到了越来越多的应用。该技术的推广使用，极大地提高了建设效率，降低了材料的浪费，降低了建设费用，极大地提高了电力工程的经济效益。所以，如何更好地把握和运用各种先进的技术和方法，是促进电力工业可持续发展的关键[7]。

（2）设备性能：在电力工程建设中，所用机械的优劣直接关系到整个建设工程的质量与进度。如果采用优良的装备，不但可以提高建造的精度与效率，也可以大大减少由于失效而造成的设备故障率与维护费用。通过以上几个方面的综合，可以提高企业的经济效益和环保效益。所以，在使用过程中，一定要保证用电设备的可靠、先进，才能适应现代化的要求[8]。

三、电力工程施工中的成本控制建议

（一）决策阶段的成本控制

（1）工程可行性研究：在前期工作中，相关人员要花很多的时间和精力做详细的可行性分析，该研究内容涉及到了一系列的内容，其中包含了对市场的深度分析、具体的技术选择和详细的投资评估。采取上述措施，既保证了工程的经济性，又保证了技术的可行性，通过这种方式，可以做出更为准确的规划，从而为施工的顺利进行奠定良好的基础[9]。

（2）确定合理的投资规模：进行投资决策时，要充分考虑到工程的需要和市场的动态。通过这种方式，可以使我们能够比较准确地掌握工程的总投资规模，避免投入过多或过少。只有准确的测算与谨慎的评价，才能保证资源的有效使用，降低不必要的费用损失，并为工程的顺利实施打下良好的基础[10]。

（3）优化建设方案：经过多个工程的比较，选出最优的施工路线。该流程由选址、设备性能、适用性、经济性等多个环节组成。该步骤的目的是为了保证所选取的设计方案既能有效的减少前期的投资风险，又能使工程的总体经济效益得到最大程度的提高。

（二）设计阶段的成本控制

（1）推行限额设计：根据已批准的投资概算和详细的设计任务书，相关人员应对初步设计、预算等各个阶段进行详细的控制，以此保证工程的使用功能。实际过程中还应力求准确测算，严格控制工程造价，保证工程造价不超出概算，避免工程造价过高和资金浪费。

（2）应用价值工程：应用价值工程核心即提高产品的综合性能和市场竞争能力。通过对各个工艺参数的细致分析，找出可能的节省费用及改善的余地，以保证工程的经济性。这样既能降低资源浪费，又能激发创意思维，保证产品满足市场要求及产业规范。

（3）加强设计审查：为保证施工的顺利实施，并在合理的成本控制下，可以成立一支评审小组。通过对初步设计的研究，使

其能够在设计过程中及时发现存在的问题，并给出相应的对策。这样，就能将由于设计变更所带来的费用损失降到最低，使整个工程获得最大的经济效益。

（三）施工阶段的成本控制

（1）加强施工组织设计审查：在选择建设工程时，要从技术上慎重考虑，并对其科学性、合理性进行深入的分析，还需要从经济性的角度对每一种方案进行经济上的可行性进行全面的评价，以保证所选择的方案在满足技术需求的前提下，在经济上尽可能地降低造价，达到经济效益和社会效益的双赢。

（2）严格控制材料成本：在物料的采购工作中，要一直坚持“质量第一”的原则。对采购的物料，如规格、尺寸、价格说明等，都要经过严格的质量审查，以保证所购物料的质量能够满足工程的要求。另外，也要强化物料的管理，通过对物料的库存量进行有效的控制，并对物料的利用率进行合理的计划，以减少物料的浪费。

（3）优化机械设备配置：在对机器装备的分配决策时，要根据工程需要和企业资金情况，综合考虑，慎重选择。在这个过程中，要对设备的性能、可靠性和维修费用进行全面的评价，以便作出最具经济性和合理性的决策。同时，要加强对机械装备的管理，保证关键装备在工地上的稳定、可靠运转，最大限度地减少由于设备失效而造成的维护成本。通过这种精细的管理与科学的决策，能够切实地提高建设的效率，降低不必要的资源浪费，达到最大的经济效益。

（4）加强现场管理：在强化施工管理过程中，一定要严格要求建设单位按照施工图纸来做，保证每个工程都能准确地实现设计意图。对任何可能出现的设计更改，都要严格控制，按照已有的程序进行审核、核准，并严格按照审批结果进行。同时，要加强现场签证工作的管理，细化工作程序，规范操作，降低不必要的签证费用。

（5）推行经济责任制：工程建设的各个阶段，都要积极推行工程经济责任制，对各个岗位的分工进行了优化和改进，提高了所有人的经济责任感。所有工作人员都应该深刻地认识到，只要每个人都能意识到自己的行动和经济利益的密切关系，工作潜力就会被充分地挖掘出来。例如拟引入业绩评价机制，以激励员工的工作积极性，以提高员工的工作积极性，保证工程的高效率和低成本。实践证明，推行经济责任制在保证工程质量的前提下，能有效地降低工程造价，为工程的顺利实施打下了良好的基础。

（四）竣工阶段的成本控制

（1）加强竣工结算管理：在工程结算审计工作中，坚持“及时、准确”的原则。对竣工验收资料进行认真审查，保证各项竣工资料准确、真实。另外，根据合同约定的结算方式、定额和收费标准等有关条款，认真审核建设工程的结算情况。通过这种程序，既能防止因结算而产生的纠纷，又能保护当事人的权益，又能保证交易的公平、透明。

（2）分析成本控制效果：在对工程实施过程中的具体实施过程进行详细的考察，并对其费用进行综合评价与分析。通过对各项成本控制方法的效果进行客观的评估，可以精确地发现哪一种方法是行之有效的，哪一种方法是可以改善的。同时，对工程执行中所面临的问题与挑战进行归纳，并将其应用于下一步的成本控制工作中，为行业内其他行业的发展提供可参考的思想与方式，保证企业的成本管理更具科学性和合理性，从而提升企业的经济效益。

四、结语

综上所述，电力工程项目成本管理是一个系统性和专业化的系统工程，它牵涉到许多领域。只有不断改进工程造价管理，才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。在实施工程成本管理过程中，要以经济利益为尺度，对成本管理进行优化，使其达到一个合理的水平，以确保电力公司的经济效益。

参考文献

[1]石岫. 建筑工程经济分析中施工成本控制探讨［J］. 建筑与装饰，2024,(04):74-76.

[2]谢科，张艳霞. 电力工程项目在经济管理中的社会成本效益分析［J］. 微型计算机，2024,(03):202-204.

[3]杜昱蓉. 建筑工程土建施工过程中的成本管理与控制策略研究［J］. 建材发展导向，2024,22(07):77-80.

[4]王益为. 浅谈建设项目管理中的工程施工进度控制［J］. 四川建材，2007,(05):67-68.

[5]满织子. G供热企业运营成本管理改进研究［D］. 内蒙古财经大学，2024.DOI:10.27797/d.cnki.gnmgc.2024.000257.

[6]王勇. 基于BIM技术的特高压输电线路工程项目管理优化［D］. 河北经贸大学，2024.DOI:10.27106/d.cnki.ghbju.2024.000310.

[7]尚志伟. 基于BPNN的地铁项目投资估算研究［D］. 石家庄铁道大学，2024.DOI:10.27334/d.cnki.gstdy.2024.000030.

[8]李晨. 基于BIM技术的装配式建筑施工精细化研究［D］. 石家庄铁道大学，2024.DOI:10.27334/d.cnki.gstdy.2024.000070.

[9]怀向阳. 绿色施工成本效益分析［D］. 长春工程学院，2023.DOI:10.27834/d.cnki.ggccc.2023.000001.

[10]孔莞. JL高速铁路工程质量管理研究［D］. 山东大学，2023.DOI:10.27272/d.cnki.gshdu.2023.007570.

风力发电与光伏发电的协调运行优化研究

张权胜

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 贵阳 550081

摘　　要： 随着能源危机的不断加剧，发展新能源电力系统是当前各国应对能源短缺问题、改善生态环境的重要举措。风电和光伏发电作为我国可再生能源发电的主力军之一，在未来电力系统中将发挥越来越重要的作用。基于此，本文首先分析了风力发电与光伏发电的协调运行优化的意义，并针对实际运行当中存在的问题，提出了相应的优化策略，期望能为风力发电与光伏发电的协调运行提供帮助。

关 键 词： 风力发电；光伏发电；协调运行；优化研究

Research on the Optimization of the Coordinated Operation of Wind Power Generation and Photovoltaic Power Generation

Zhang Quansheng

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550081

Abstract: With the intensification of the energy crisis, the development of new energy power system is an important measure for countries to cope with the problem of energy shortage and improve the ecological environment. As one of the main forces of renewable energy power generation in China, wind power and photovoltaic power generation will play an increasingly important role in the future power system. Based on this, this paper first analyzes the significance of the coordinated operation optimization of wind power generation and photovoltaic power generation, and puts forward the corresponding optimization strategy for the problems existing in the actual operation, hoping to provide help for the coordinated operation of wind power generation and photovoltaic power generation.

Keywords: wind power; photovoltaic power generation; coordinated operation; optimize your research

引言

在当前全球能源结构转型的大背景下，风力发电与光伏发电因其清洁、可再生的特性，成为替代传统化石能源的重要选择。然而，由于风力和太阳能资源的间歇性和不确定性，风力发电和光伏发电在实际运行中面临着诸多挑战。例如，风力发电受天气影响较大，风速的不稳定会导致发电量波动；而光伏发电则受昼夜更替和天气变化的影响，发电效率也会随之波动。因此，如何实现风力发电与光伏发电的高效协调运行，成为新能源电力系统稳定供应的关键问题。

一、风力发电与光伏发电的协调运行优化研究的重要性

（一）提高能源效率与系统稳定性

在风力和光伏系统中，通常会配置一些储能设备，以提高能源的利用效率。 通过将风力发电、光伏发电以及储能装置等进行有效的协调控制，可以实现电力能源的高效转换与应用。 这种协同优化运行方式可以最大限度地减少电能损失，提升电力系统的稳定性，从而达到提高能源效率的目的[1]。

（二）降低可再生能源成本

风力发电与光伏发电的协调运行优化研究的重要性不仅体现在提高能源效率和可靠性上，还在于降低可再生能源成本。通过优化两种能源的运行模式，可以减少对传统能源的依赖，降低能源市场的波动风险。协调运行能够确保在风力发电和光伏发电各自的高效时段内，优先使用这些清洁能源，从而减少对化石燃料的消耗和环境污染。此外，优化研究可以提高发电设备的利用率，延长设备的使用寿命，减少维护成本。通过智能调度和预测技术，可以更准确地预测风力和光照条件，实现发电量的最大化和成本的最小化[2]。

（三）应对电网负荷波动的良好手段

由于电网中的负荷会存在着较大波动性，所以为了确保电力系统的稳定运行，则需要将风电、光伏发电和火电等进行联合运

作者简介：张权胜（1991.06-），男，土家族，贵州省德江县人，大专学历，职称：助理工程师，工作领域：新能源生产运行、维护。

行。通过这种方式不仅可以使得发电量得到充分利用，同时也能够保证整个发电系统的稳定性，从而为电网带来更多的经济效益。而在这过程当中，有必要结合实际情况来合理选择风机、光伏电池板以及蓄电池之间的容量配比问题。

（四）减少环境影响，促进可持续发展

风力发电与光伏发电作为可再生能源的重要组成部分，其协调运行优化研究的重要性不仅体现在提高能源利用效率上，还体现在减少环境影响，促进可持续发展方面。通过优化调度策略，可以有效降低风力发电和光伏发电的波动性，提高电力系统的稳定性和可靠性。这不仅有助于减少对化石燃料的依赖，降低温室气体排放，还能减轻对自然生态系统的破坏，保护生物多样性。此外，协调运行优化研究还能促进能源结构的转型，推动经济的绿色低碳发展，为实现全球气候变化目标和可持续发展目标提供有力支持。因此，深入研究风力发电与光伏发电的协调运行优化，对于构建清洁、安全、高效的能源体系具有重要的现实意义和长远的战略价值[3]。

（五）有助于应对未来智能电网发展的挑战

随着全球经济的快速发展，环境污染问题日益突出，世界各国纷纷开始重视对可再生能源的开发利用。在新一轮能源结构调整中，风电、光伏等可再生能源发电将得到快速发展，通过大规模建设风电和光伏发电，并通过先进的信息技术和控制技术提高系统运行效率，充分发挥其分布式电源灵活调节能力，可以有效缓解电网高峰用电负荷压力。如何在保证电力系统安全稳定的前提下，最大限度地发挥风电与光伏的互补特性，实现电力资源优化配置，是当前电力系统面临的主要问题之一。而建立适应风电、光伏发电发展的智能电网，就成为解决这一问题的关键途径之一。因此，开展风力发电与光伏发电的协调运行优化研究具有重要意义[4]。

二、风力发电与光伏发电的协调运行优化中的难点

（一）风光互补系统的能量预测挑战

风光互补系统的能量预测挑战主要源于风力和太阳能的间歇性和不确定性。风速和太阳辐照度受多种因素影响，如季节、天气、地理位置等，这些因素导致风力和太阳能的产出难以精确预测。此外，风力发电和光伏发电的输出特性存在差异，风力发电在夜间可能为零，而白天太阳辐照度强时，风力可能较弱，反之亦然。因此，要实现风光互补系统的高效协调运行，就需要开发更为精准的预测模型，以提高对风力和太阳能产出的预测准确性[5]。

（二）储能技术在风光发电中的应用限制

目前，储能技术的发展还处于初步阶段，所研发出的电池等储能装置大多无法适应高电压、大容量的需求。在我国电力系统中，对于电压等级为110kV以上的电网，其最高电压可达127.5kV，而电池储能装置却很难满足这一要求。此外，储能电池的使用寿命一般较短，且容易受环境温度影响，因此如何提高电池储能设备的寿命和性能成为了一个亟待解决的问题。

（三）电网调度与风光发电的协同难题

就目前而言，风光发电出力的随机性和波动性是电网调度人员所面临的重要挑战。由于风光发电具有明显的季节差异，其出力存在着很大的不确定性。同时，在负荷水平较低的情况下，风电场功率输出也可能会降低，而光伏电站的发电量则可能会增加，这就给电网运行调度带来了极大的困难。另一方面，由于风光发电的不稳定特性，传统的调峰方式已经无法满足当前电网调峰的需求。因此，如何制定合理的协调措施以提高电网的供电质量成为了一个亟待解决的问题。

（四）环境因素对风光发电效率的影响

风力发电与光伏发电的协调运行优化中的难点在于它们各自依赖的自然条件具有很大的不确定性。风力发电依赖于风速，而光伏发电则依赖于日照强度。这两种能源的生成特性在时间上和空间上都存在差异，因此在实际运行中，如何有效地协调这两种发电方式，以实现能源的最大化利用和电网的稳定供电，是一个技术挑战。环境因素对风光发电效率的影响显著。风力发电效率受风速的影响，风速过低或过高都会降低发电效率，甚至导致风机停机。而光伏发电效率则受云层遮挡、雨雪天气、温度变化等因素的影响。例如，云层遮挡会显著降低太阳辐射强度，从而减少发电量。此外，温度变化会影响光伏电池的效率，高温通常会导致效率下降。因此，环境因素的预测和实时监测对于风光发电系统的优化运行至关重要[6]。

（五）政策与市场机制对风光发电优化的制约

风电、光伏发电具有随机性和间歇性，而当前电力市场的运行机制还不能完全适应其特性，例如，风电、光伏等新能源发电参与电网调峰时，只能按照一定比例参与调频辅助服务。这就限制了风光发电在调峰中的应用，不利于风光机组的高效利用。此外，我国可再生能源补贴的经费以国家财政拨款为主，缺乏稳定的收入来源。为保障新能源建设的积极性，应探索以市场为导向的新能源项目补偿机制，引导社会资本主动参与，健全财政补助多元化融资方式。

三、风力发电与光伏发电的协调运行的优化策略

（一）与高校展开合作，针对性定制技术人才

风能、太阳能发电作为新能源的重要组成部分，在电力系统中发挥着至关重要作用。我国拥有广阔的土地资源以及丰富的太阳能和风能资源，发展新能源产业对国家经济建设意义重大。为了促进风力发电及光伏发电之间的协调运行，必须要加强技术人才培养，与高等院校展开合作，通过校企合作模式吸引更多人才到学校学习相关知识，提高学生专业素质，帮助他们尽快融入工作岗位当中。同时，企业还可以与政府联合开展培训班，邀请行业内专家为学生进行指导，使他们能够掌握先进技术，并应用到实际工作当中[7]。

（二）加大储能技术研究力度，降低应用成本

为了使风电、光伏发电与电网的协同运行更加顺利，需要加强对储能技术的研究，并对其进行优化设计，以提高其转化效

率，进而降低其使用成本。同时，企业还应积极引进先进技术，研发高精度、大容量的新能源存储装置，使之更好地适应各种场合的需要，进一步提升风电与光伏并网后的稳定与安全。例如，可以利用超导磁体技术，将风能和太阳能通过电磁转化方式进行存储；或者使用超导电缆来连接电池、电解质以及逆变器等元件，以此实现电力在能源生产领域内的高效传输[8]。

（三）建立智能电网管理系统，优化电网调度

通过建立智能电网管理系统，可实现对风力发电和光伏发电两种发电方式的有效调度，提高能源利用效率。电网自动化管理系统可以通过合理安排机组运行模式，及时调整电力负荷，从而优化风能、太阳能发电资源的配置，提升系统供电质量，充分发挥出其自身优势。同时，智能电网还具有一定的信息处理功能，能够将电力需求与实际供给进行匹配，并生成最优方案，使得风电场与太阳能电站间的互补性得到充分体现。在智能微电网下，电力部门需加强与当地政府及相关部门之间的沟通交流，加快制定相应政策法规，建立健全电力市场交易机制，规范电力市场行为，为风电与光伏两种发电方式的发展创造良好环境[9]。

（四）优化风光发电设备布局和设计，减少环境影响

风力发电系统是一种比较复杂的能量系统，它的建立与运行都要考虑到整个系统的总体布置。由于风能的随机性，以及光伏发电装置在光照环境下的不稳定性，若不能确保其正常运行，就不能有效地发挥其功能。为此，应强化风力发电装置的设计与布置，合理布置风电与光伏装置，以最大限度地发挥其对环境的影响。

（五）与政府积极合作，制定风光发电发展政策

风光发电在我国的发展时间不长，国家政策方面还未对其给予足够的重视。地方政府要积极与政府合作，针对当地实际情况和经济发展状况制定风光发电发展政策。首先，相关部门应加大力度宣传风光发电优势，引导社会各界对该行业的关注与支持；其次，应完善投资体制机制，吸引更多投资者参与到风光发电项目中来，扩大该行业市场规模；最后，出台相应法律法规，促进风光发电技术创新和产业化发展。只有这样才能确保风力发电与光伏发电协调运行工作顺利开展[10]。

四、结语

综上所述，风力发电与光伏发电作为可再生能源的重要组成部分，在未来能源结构中将扮演越来越重要的角色。然而，要实现这两种发电方式的高效协调运行，需要解决技术、环境、政策等多方面的挑战。通过与高校合作培养专业人才、加大储能技术研究力度、建立智能电网管理系统、优化发电设备布局和设计以及与政府积极合作制定发展政策等措施，可以有效提升风光发电的效率和稳定性，降低对环境的影响，促进新能源产业的健康发展。未来，随着技术的不断进步和政策的完善，风光发电有望成为支撑我国能源安全和可持续发展的重要力量。

参考文献

[1]杨桦. 改善含风光并网电力系统低频振荡特性的多控制器协调优化策略［D］. 郑州轻工业大学，2024.DOI:10.27469/d.cnki.gzzqc.2024.000144.

[2]吴磊. 大规模储能与高渗透率新能源的协调调度策略研究［J］. 化学工程与装备，2024,(01):130-132.DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2024.01.007.

[3]柳清扬. 含风光储的直流微网功率协调控制策略研究［D］. 沈阳工业大学，2023.DOI:10.27322/d.cnki.gsgyu.2023.001548.

[4]禹淼源. 极地无人车小型风/光/储供电系统控制策略研究［D］. 太原理工大学，2023.DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2023.000460.

[5]陈超，王金忠，吴焰龙. 新能源电力系统的规划及应用研究［J］. 能源与环保，2022,44(08):217-221+228.DOI:10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.08.037.

[6]郭燕. 考虑风光不确定性的风电－光伏－光热－火电联合优化调度［D］. 兰州理工大学，2022.DOI:10.27206/d.cnki.ggsgu.2022.000575.

[7]孟德越，刘伟，崔茂齐. 风光互补发电系统协调控制策略与并网研究［J］. 河北水利电力学院学报，2021,31(02):51-55+66.DOI:10.16046/j.cnki.issn2096-5680.2021.02.009.

[8]韩健. 考虑需求响应与功率交换的热电联供型微电网多源联合调度［D］. 长春工业大学，2020.DOI:10.27805/d.cnki.gccgy.2020.000637.

[9]程启明，陈路，程尹曼，等. 基于改进型恒压控制与直流电压控制的交流微网协调控制方法研究［J］. 太阳能学报，2020,41(03):65-73.DOI:10.19912/j.0254-0096.2020.03.010.

[10]张荣达，赵晓丽，张庆斌，等. 基于风光发电的中国各省绿氢替代灰氢经济性研究——基于精细地理网格分析［J］. 资源与产业，2024,26(03):134-146.DOI:10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20240513.001.

家庭节能管理控制研究

周洪儒，石德刚，黄精，刘超
重庆轻工职业学院，重庆 400065

摘　　要： 文章是《基于智能化的家庭节能管理系统研究》项目的控制研究。文章从分析家庭能源消耗开始。采用ETA事件树分析法对家庭用电、用水设备进行逐一进行能耗分析。找出可以进行节能管理的设备和方法，以及控制设备的方法。搭建了一套设备管理控制系统的硬件部分。

关 键 词： 家庭节能；能耗分析；配电箱；电力载波通信；电器控制

Research on Household Energy-Saving Management Control

Zhou Hongru, Shi Degang, Huang Jing, Liu Chao
Chongqing Vocational College of Light Industry, Chongqing 400065

Abstract: This article is a control study for the project "Research on Intelligent-Based Household Energy-Saving Management System". The article begins with an analysis of household energy consumption, employing the ETA (Event Tree Analysis) method to conduct an energy consumption analysis of household electricity and water-using equipment individually. It identifies equipment and methods that can be used for energy-saving management, as well as methods for controlling the equipment. The hardware component of a set of equipment management and control system has been established.

Keywords: household energy saving; energy consumption analysis; distribution box; power line carrier communication; electrical appliance control

引言

随着人民生活水平的不断提高，家用电器也越来越多，随之而来的就是家庭能源消耗的大幅度增加。

国家能源局2024年发布"2023年全年城乡居民生活用电量13524亿千瓦时，同比增长0.9%"[1]。根据《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》要坚持"全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险"原则。

智能化的家庭节能管理系统（以下均称管理系统）就是基于"节约优先"这一原则，采用智能化的手段对家庭能源（电、水、气）进行智能化的管理。

一、家庭能耗分析和节能管理分析

（一）家庭能耗主要包括：

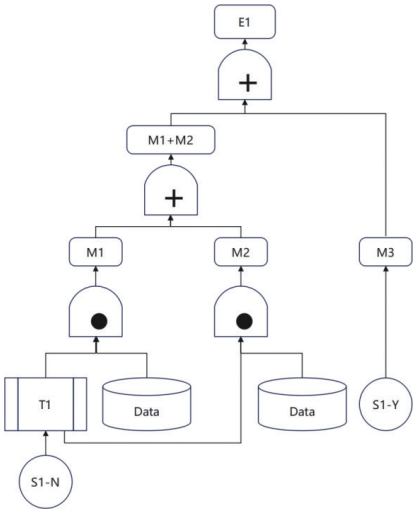
用电：电视、冰箱、空调、洗衣机、饮水机、电脑、油烟机、取暖器、照明等设备；用水：洗衣机用水、冲水箱（马桶）用水、其它用水；因为燃气是爆炸性危险气体，本文不做分析。

（二）能耗分析

能耗分采用ETA事件树分析法，找出各个设备在使用中的能源消耗过程。并对家庭的每一台设备进行分析，找出可以进行管理的设备和优化的方法。

顶事件E1是设备总能耗；M1待机能耗，M2忘记关闭无用能耗，M3正常使用能耗；T1事件触发延时器；D历史数据；S1事件传感器（Y有，N无）。

以二室一厅的户型进行能耗分析，详表1[2]。



> 图1 能耗分析事件树

基金项目：重庆市教育委员会科学技术研究项目（KJQN202306401）资助。

表1[2] 能耗分析表

用电设备	功率	待机功率	待机时间	忘记关闭时间	正常使用时间	设备数量	年使用天数	待机能耗	忘记关闭能耗	可节能能耗	总能耗
	(W)	(W)	(h/天)	(h/天)	(h/天)	(台)	(天/年)	(kW·h/年)	(kW·h/年)	(kW·h/年)	(kW·h/年)
								M1	M2	M1+M2	E1
电视	100	1	16.8	1.2	6	3	365	18.4	131.4	149.796	657.1
冰箱	150	1.5	0	1.2	22.8	1	365	0	65.7	65.7	1248.4
空调	1000	10	10.8	1.2	12	3	60	19.4	216	235.44	2160.2
洗衣机	650	6.5	23	0	1	1	365	54.6	0	54.5675	237.3
饮水机	1000	10	18.8	1.2	4	1	365	68.6	438	506.62	1460.5
电脑	400	4	10.8	1.2	12	1	365	15.8	175.2	190.968	1752.2
油烟机	200	2	21.8	1.2	1	1	365	15.9	87.6	103.514	73.1
取暖器	1000	10	21.8	1.2	1	1	60	13.1	72	85.08	60.1
照明	100	1	0	1.2	8	3	365	0	131.4	131.4	876.1

注：1.忘记关闭时间按总使用时间的5%计算；2.待机功率按设备功率的1%计算。

从表1中我们可以看出，电器设备浪费掉的能源是待机损耗和用户忘记关闭的损耗。这些浪费的能源可以被管理。按表1，我们很容易计算出加入管理系统后，住宅一年可节约用电约1523（kW·h/年），约852.88（元/年）。

用水分析：水箱单次冲洗用水≤5L/次[3]。生活中，大便（M1）和小便（M2）的冲洗用水都是5L/次。加入管理系统后，可以把M2用水量控制在1L~2L左右。那么可以节约用水约6570L/年，22.995元/年。（公式：E=T1×M1×P×365天+T2×M2×P×365天；E2=E-E1）

P总人数（3人），T1大便次数每人，T2小便次数每人，M1大便用水量（L/次），M2小便用水量（L/次），E管理前总水量，E1管理后总用水量，E2管理后总节约用水量。

住宅加入管理系统后，每年共可节约875.875元。

（三）家庭情况分析

家庭节能管理系统服务对象是家庭用户。因此必须分析家庭用户的特点。整理出适合不同用户的方案[4]。

2023年中国城镇化率已经达到65.2%。2024年8月9日，国务院印发《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》提出未来五年中国城镇化率提升至70%。从中可以看出中国未来新增住房不高，大多数住房均已经完成了装修。因此我们“管理系统”的用户主要是已入住的居民。

（1）对于已入住的用户。如果破坏原有装修。会造成用户的经济损失，也会影响用户生活。产品就不能被用户接受，影响产品推广和普及。因此，“管理系统”必须要满足，在不破坏或极少破坏原有装修。

（2）对于新增住宅，设备安装比较容易。但是在实施过程中，工人和现场管理人员的水平不高，施工全凭个人经验。对于这种新型系统的施工，难以保证按要求完成。一旦出错，整改的成本也很高。

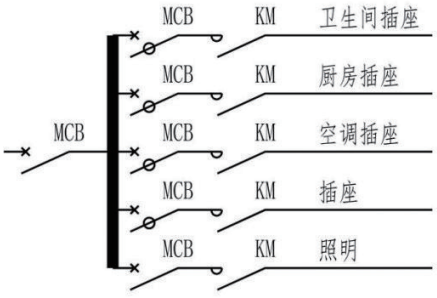
综上所述，“家庭节能管理系统”要满足：①要不破坏或极少破坏用户原有装修，能利用现有线路和设备；②要方便施工，复杂程度不能太高。

二、控制系统硬件构建

（一）住户配电箱改造

住户配电箱一般有照明、插座、空调插座回路[5]。

按“管理系统”需求进行改造。在配电箱的每一个出线回路增加1个单相交流接触器KM，作为回路控制的执行机构。当住户长期在外时（如：旅游、工作），可通过控制KM对屋内进行断电，既可以降低待机能耗，还能预防电气火灾。改造后的住户配电箱，如图2所示：



>图2 住户配电箱改造后系统图

（二）控制系统

（1）通信方式

管理系统为符合前边分析的要求[6]。系统可以采用WIFI无线通信或有线通信。

①WIFI无线通信方式：我们生活的空间，电磁环境非常复杂。如果采用WIFI通信方式，可能存在信号不稳定、泄露隐私等情况。参考工业领域，几乎不使用无线通信。

②有线通信方式：如果采用标准的RS485或RS232等信号，就需要对每一个设备单独布置通信电缆，并且不能和电力线缆同管道敷设，施工复杂。因此管理系统采用电力载波通信技术，利用电力线缆作通信介质。不需要单独布线[7]，极大的降低了

成本。

综上所述，管理系统通信采用电力载波通信技术。

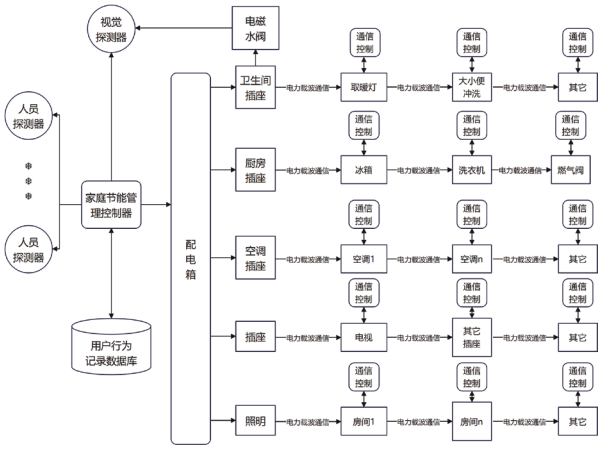
（2）电器设备控制

因电视、冰箱、空调、洗衣机、饮水机、电脑、油烟机等电器都是通过插座接上电，所以采用具有电力载波通信功能的可控电插座。只需将现有的插座更换为带通信的可控电插座。通过对每个插座的控制起到降低待机损耗和遗忘关闭的损耗。

对于照明，加装具有电力载波通信功能的可控模块[8]。解决忘记关灯的损耗。

（3）对冲水马桶水箱增加1个电磁阀水阀和1个带通信的电插座[9]。只需要控制插座的通电和断电时间，就能控制冲洗用水量，起到节水的作用。

控制系统框图，如图3所示：



> 图3 控制系统框图

三、结束语

文章以家庭用电、用水为研究对象。针对如何搭建家庭用电、用水设备的节能管理系统进行研究。采用ETA事件树分析法，分别找出家用电器的能耗组成和用水情况[10]。首先完成硬件的构建，为后期算法的研究和嵌入式系统的开发、程序设计提供依据。为进一步完善《基于智能化的家庭节能管理系统研究》项目的研究提供支撑。

参考文献

[1]国家能源局．2023年全社会用电量92241亿千瓦时同比增长6.7%［J］．2024-01-26.

[2]李俊民，陈琪，孙兰等．建筑电气常用数据法［J］．中国计划出版社．19DX101-1.

[3]孙双良．基于电力载波通信技术的低压电能计量数据集抄方法［J］．信息与电脑（理论版）.2023,35(24).

[4]孙兰，李雪佩，李立晓等．住宅建筑电气设计规范［J］．中国建筑工业出版社，2011.

[5]段先湖，刘幼红，刘继武等．节水型卫生洁具［J］．中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会，2015.

[6]约翰·埃里克森，贝诺伊特·福廷，珍－盖伊·加涅，雷内·帕尔多．使用电插座以用于集成式电力控制、通信和监视的系统和方法．CN 109792125 A

[7]李冰，曾裕玲，葛春玉，叶向东等．石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准［J］．中国计划出版社，GB50493-2019.

[8]徐继荣，马恒平，高生军，何蓉等．信号报警及联锁系统设计规范［J］．中华人民共和国工业和信息化部，HG/T20511-2014.

[9]徐继荣，马恒平，高生军，何蓉等．分散型控制系统工程设计规范［J］．中国计划出版社，HG/T20573-2012.

[10]徐凤，张淼，冯旭东，刘振印等．建筑给水排水设计标准［J］．中国计划出版社，GB50015-2019.

电气工程中基于智能技术的新型电力系统设计与优化研究

戴兴良

贵州黔西南金元新能源有限公司，贵州 兴义 562400

摘　　要： 在智能技术快速发展的今天，新型电力系统被越来越多地运用到电气工程当中。基于此文章就以智能技术为基础的新型电力系统设计和优化问题入手进行讨论，并对智能技术应用于电力系统的优势进行了分析，在此基础上对新型电力系统设计方案进行了展望与优化，以期望提高电力系统运行的稳定性，可靠性以及效率。

关 键 词： 电气工程；智能技术；新型电力系统；设计；优化

Research on Design and Optimization of New Power System Based on Intelligent Technology in Electrical Engineering

Dai Xingliang

Guizhou Guizhou Southwest Jinyuan New Energy Co., Ltd. Xingyi, Guizhou 562400

Abstract: In today's era of rapid development of intelligent technology, the new power system is increasingly being applied in electrical engineering. Based on this, the paper starts with a discussion on the design and optimization of the new power system based on intelligent technology, and analyzes the advantages of applying intelligent technology to the power system. On this basis, the paper outlines the prospects and optimization of the new power system design scheme, with the aim of improving the stability, reliability and efficiency of power system operation.

Keywords: electrical engineering; intelligent technology; new power system; design; optimization

引言

基于社会经济持续发展的背景，人们对于电力的要求也越来越高，因此传统电力系统受到了很多挑战，例如稳定性，可靠性以及效率问题等等。而人工智能技术，物联网技术以及大数据技术这些智能技术的繁荣，也给电力系统带来了全新的变革契机。此时如果相关人员将智能技术运用到新型电力系统设计和优化当中，则能够有效地促进电力系统综合性能的提高，适应现代社会对于电力的更高需求。

一、智能技术在电气工程中的应用

（一）人工智能技术

人工智能技术主要有机器学习，深度学习以及其他算法。其中电力负荷预测可以采用人工智能技术进行电力系统的预测。因为借助海量历史数据，人工智能算法可以精确地预测出不同时间段内电力负荷情况，从而为制定发电计划奠定基础[1]。另外在电力系统故障诊断中，人工智能技术可以快速地对故障特征进行分析，并对故障点进行定位并缩短故障排查的时间。以神经网络为例，故障诊断系统能够对电力设备异常运行状态进行辨识，进而增强电力系统运行安全性。

（二）物联网技术

物联网技术能够使电力系统内的设备互联。实际工作过程中，工作人员通过将传感器安装于电力设备中，以实现对设备运行参数例如温度，电压和电流的实时采集。基于此相关人员还可通过物联网网络可将上述数据传输至控制中心，从而达到远程监控电力设备的目的。举个例子来说，智能电表作为物联网在电力领域的一个标志性应用，其能够准确地测量用户的电量消耗，并实时地将这些数据反馈给电力供应公司，同时还便于用户对其用电情况进行了解，达到节能减排的目的[2]。

（三）大数据技术

实际电力系统在运行中会产生大量数据，而大数据技术能够将其高效地储存，管理与分析。此时应用大数据技术能够发掘电力系统运行过程中潜在的规律，如对不同季节和区域用电模式进行分析等，从而为电力系统优化操作提供决策支持。除此大数据技术也能够预测电力设备运行寿命，并通过对其运行数据趋势性

作者简介：戴兴良（19970.01-），男，汉族，贵州省惠水县人，大学本科，研究方向电力安全管理。

特征的分析来提前布置设备维修与更换工作，进而减少设备故障风险[3]。

二、新型电力系统的设计

（一）总体架构设计

基于智能化技术的新型电力系统包括许多重要的组成部分。就发电单元而言，以往的传统火力发电和水力发电在实践中能够继续起作用，但此时相关人员也应注重可再生能源发电兴起是。比如：太阳能发电依托于太阳能资源丰富，其能够利用光伏电池实现光能到电能的转换；而风能发电主要依赖于风力发电机组，将风的能量转换为电力；同时分布式能源资源（DER）具有广泛的分布，并能显著降低传输过程中的损耗。

以上述内容为基础，当工作人员在输电和配电网络中应用智能电网技术时，高压输电线路则承担着远距离，大容量电能传输任务；变电站完成电压变换任务，智能配电网可以对电能进行灵活配置[4]；储能系统中含有电池储能与抽水蓄能，所以可以用于电能供需不平衡情况下的调控；用户端智能电表则可以对用电进行准确计量，并且此类智能家居便于用户对用电设备进行操控并与电力系统进行交互。

（二）智能控制策略设计

1.基于智能技术的电力系统控制策略

相关企业建立在智能技术基础上的电力系统控制策略，是确保电力系统有效，平稳运行的重点。一方面其可以采取智能化分布式控制策略，并借助于人工智能算法强大运算能力。如分布式能源接入后，工作疼利用智能算法实现分布式电源无功功率与有功功率精准控制。如此一来就可以避免分布式电源的接入给电网稳定性带来的影响，并且保证电能质量。另一方面来说，如果企业采取模型预测控制（MPC）为基础的策略，需要充分考虑了电力系统的动态变化和各种约束条件。该方法可以根据系统的现状以及历史数据来对未来的状态进行预测，比如对不同时间段内负荷需求进行预测等，以便事先制定出最佳的控制策略，就像是对发电计划进行调节一样、对输电线路功率进行优化分配等等，在实际运用中可以有效地改善电力系统性能。

2.智能控制策略的实现方法

相关企业要实现智能控制策略，就必须综合运用多种手段。其中最关键的则是通过将智能控制器植入电力系统设备，让它们像设备的“大脑”一样。比如安装于发电设备，输电设备以及配电设备上的控制器，相关人员就可以对设备的电压，电流以及温度等运行数据进行实时收集。以此为基础他们再根据预先设定的控制算法，例如模糊逻辑算法和神经网络算法等，以进行实时的决策调整与优化设备的运行参数。

与此同时构建电力系统数字孪生模型亦是一种重要手段[5]。相关人员可在虚拟环境下搭建一个和实际电力系统完全一致的模型来综合检验该智能控制策略。该方法能够模拟电力系统在不同工况下的运行情况，例如故障状态和高峰负荷状态等。同时根据测试结果，员工可以优化策略，然后将优化后的策略应用到实际的电力系统中，以确保策略的有效性和可靠性。

（三）通信系统设计

1.新型电力系统的通信需求

新型电力系统对通信的要求是复杂和多样化的。

要求一：系统内问题的提出发电单元、输电及配电网络，储能系统以及用户端必须进行实时数据交互。其中发电单元应将发电功率和设备健康状况等主要信息及时传送给电网控制中心，便于电网对电能进行合理的调度[6]。如风力发电场需通知电网目前风力发电功率及风机运行情况；输电和配电网络在接受控制指令时，应向控制中心反馈线路电压，电流及其他参数；而储能系统需要将储能容量，充放电状态以及其他数据送出；另外用户端智能电表需要向电力供应商传输用电量和用电时段，智能家居设备还需要和电力系统进行通讯。

问题二：为了保证电力系统的安全平稳运行，通信系统还应具有高可靠性，以免发生数据丢失或者通信中断等事故。而相关人员想达到以上目标，就必须有较低的时延以保证控制指令的及时送达，并且还必须具有高带宽才能满足海量数据传输的需要。

2.通信技术的选择与应用

工作人员选择和运用通信技术时要考虑到很多方面。即光纤通信技术由于其特有的优点，适合远距离与大容量数据传输。而利用光纤复合架空地线（OPGW）在输电线路上，相关人员不仅可以实现避雷功能，还能确保变电站与控制中心之间实现高速且稳定的通讯。因为它具有较大的传输带宽，能够满足电力系统中海量监测数据以及控制指令传输的需要，并具有较强的抗干扰能力，所以能够确保了通信可靠。另外在无线通信技术领域，5G通信因其高度的灵活性和部署的便捷性而受到赞誉，特别适合于用户端设备与电网间的数据交流。比如智能电表可以通过5G网络把用电数据迅速精准的传送到电力公司，同时智能家居设备可以使用5G和电力系统实时互动，在该基础上用户可在手机等终端设备上随时观察并掌控家庭用电状况，而电力公司可及时从用户侧获取信息，从而实现需求侧管理。

三、新型电力系统的优化

（一）稳定性优化

1.提高电力系统稳定性的方法

在电网拓扑结构优化中，相关人员通过对输电线路布置和接入方式进行合理规划，可以形成多回线路和环网结构。例如城市电网系统中，其建立多个变电站间的通信线路，电能则可以在多条不同的路线上进行传输。并且当某一线路出现故障时，电能可以通过其他途径进行补充，从而避免了大规模的电力中断。此外相关人员通过增加备用线路或并行线路，还可以提高电网对故障的应对能力，从而增加线路的冗余度。与此同时先进电力电子设备的使用对于提高稳定性而言，同样具有重大意义[7]。

2.智能技术在稳定性优化中的应用

因为人工智能技术对电力系统的稳定性进行实时评估，具有独特的功能，所以得到了相关人员的重视。一方面相关人员采用

机器学习算法分析了电力系统海量运行数据，其中包括电压，电流，功率及其他参数历史数据与实时数据。另一方面其通过构造模型，可以对诸如发电机功角变化和负荷波动这些可能会对稳定性产生影响的各种因素进行预测。比如深度学习算法能够挖掘数据中复杂的关系并对将要出现的稳定性问题进行事先预测，从而使操作人员能够事先采取措施来调节发电机出力和切换线路。除此物联网技术是利用电力设备中设置的海量传感器来达到实时监控设备运行状况的目的。如变压器油温传感器和输电线路张力传感器，当传感器发现装置的运行参数偏离了正常的范围，就会对系统的稳定性产生影响，但如果此时其能将数据即时传送到控制中心，控制中心就能及时作出调整设备运行状态和安排检修的决定，进而确保电力系统平稳运行。

（二）可靠性优化

1. 增强电力系统可靠性的措施

就现如今情况而言，提高装置的可靠性是保证电力系统能够可靠工作的根本。在设备选型上相关企业要选用有质量高，并且经严格检测认证的电力设备。如选择高可靠性绝缘材料变压器，在工作中就可以减少绝缘故障发生的可能性。而对电力电缆而言，应选用具有良好抗腐蚀和抗老化性能的。

除此之外强化设备维护与检修也是重中之重[8]。一方面相关企业应制定科学，以保证相关设备拥有合理的维护计划并定期检验，测试及维修设备。即定期做发电机油液分析和绝缘电阻测试，以此发现设备可能出现的问题及时维修。另一方面设置冗余备份系统对于处理设备故障是一种行之有效的方法。因为变电站内除正常工作的变压器以外都有备用变压器，所以当运行中的变压器发生故障后，备用变压器能快速投入工作，进而保证了电力供应不中断。

2. 可靠性评估方法

就可靠性评估而言，如今故障树分析被广泛认为是一种有效的可靠性评价手段。它本质上以系统故障这一顶事件为研究对象，通过对引起顶事件的各中间事件及基本事件进行分析来构造故障树模型。比如对某变电站停电故障来说，发生在中间的事件可以是变压器失效，断路器失效等等，而发生在根本上的事件则有绝缘损坏和机械部件磨损。此时相关人员引用故障树进行定性与定量分析，可识别系统薄弱环节。

（三）效率优化

1. 提高电力系统效率的途径

就优化发电单元操作提高发电效率而言，针对火力发电相关人员利用超超临界燃烧技术等先进燃烧技术可以提升蒸汽温度与压力，因为其能使得燃料燃烧更加完全，进而提升发电效率。同时提高蒸汽轮机技术如使用高效叶片设计和优化汽轮机通流部分，还可降低能量损失。其中对可再生能源发电而言，发电设备优化配置至关重要；而进行风力发电时，相关人员应针对风力资源分布特征，对风电场建设位置进行合理选择，以实现风机对风能的最大化利用[9]。

2. 智能技术在效率优化中的作用

大数据技术应用于电力系统的运行数据分析中，对于提升效率有着很大的作用。在实际工作中，该技术可对发电，输电，配电以及用户侧大量数据进行采集与集成，其中包括设备运行参数，负荷曲线以及发电功率。并且大数据技术还能够对电力系统效率较低的部分进行挖掘，如部分时段发电设备效率较低，输电线路损耗区间较高等问题，如此工作人员则能有针对性地给出优化建议。如其可以基于大数据分析结果来调整发电设备运行参数或改造输电线路[10]。

四、结语

在智能技术日益发展的今天，相关企业应用以智能技术为基础的新型电力系统有着广泛的前景。鉴于上述研究表明了经过合理设计与优化，智能化技术能够显著提升电力系统运行的稳定性、可靠性与效率，保证在适应社会不断增长的电力需求的同时，促进电力行业朝着更智能，更环保，更可持续等方面发展。但在构建新型电力系统过程中也面临技术标准统一，数据安全等多方面的挑战，有待更深入地研究与探索。

参考文献

[1]顾妍. 电气工程自动化系统中的智能技术运用［J］. 电子技术，2024,53(04):252-253.

[2]张雅婕，杨洁. 智能技术在煤矿电气工程自动化中的应用［J］. 现代工业经济和信息化，2024,14(08):149-151.

[3]郝龙. 人工智能技术在建筑电气工程中的运用探讨［J］. 城市建设理论研究（电子版）,2024,(19):89-91.

[4]苏章越. 建筑电气工程智能化施工策略探索［J］. 城市建筑空间，2024,31(S1):200-201.

[5]温煜，刘海鹏. 自动化控制系统中的智能技术应用［J］. 集成电路应用，2024,41(06):250-251.

[6]梁卫成. 智能技术在电气工程自动化控制中的应用［J］. 模具制造，2024,24(05):192-194.

[7]王振伟. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用研究［J］. 造纸装备及材料，2024,53(04):43-45+82.

[8]郑一江，宋冰. 试分析智能技术在电气工程自动化控制中的应用［J］. 生命科学仪器，2024,22(02):33-35.

[9]曹秋林. 电气工程中的智能控制系统设计与应用研究［J］. 时代汽车，2024,(06):138-140.

[10]姜永浩. 电气工程及其自动化的智能化技术分析［J］. 电气技术与经济，2023,(08):346-348.

浅谈电力工程 EPC 总承包设计管理

王岳华

中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司，湖北 武汉 430071

摘　　要： 随着我国社会经济的不断发展，电力工程建设项目规模宏大，涉及的专业领域和参建单位众多，整体复杂度较高。电力工程项目规模的扩大和复杂性的增加，传统的设计－招标－施工（DBB）模式在效率和风险控制方面存在诸多局限。在工程建设的设计、采购和施工等三大环节中，设计管理非常关键，是确保采购和施工质量的前提条件，需要按照设计文件、技术规范书和图纸等依据展开工作。设计管理在整个工程的全生命周期中起到指导和规范作用，是解决工程问题的重要工具。基于此，本文针对电力工程 EPC 总承包设计管理策略进行重点分析。

关 键 词： 电力工程；EPC 总承包；设计管理策略

Discussion on EPC General Contracting Design Management of Electric Power Engineering

Wang Yuehua

China Electric Power Engineering Consulting Group Zhongnan Electric Power Design Institute Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430071

Abstract: With the continuous development of China's social economy, the scale of electric power engineering construction projects is large, involving many professional fields and participating units, and the overall complexity is high. With the expansion of the scale and complexity of power engineering projects, the traditional design-bidding-construction (DBB) model has many limitations in terms of efficiency and risk control. In the three links of design, procurement and construction, design management is very critical, which is the prerequisite to ensure the quality of procurement and construction. It needs to be carried out in accordance with the design documents, technical specifications and drawings. Design management plays a guiding and normative role in the whole life cycle of engineering, and is an important tool to solve engineering problems. Based on this, this paper focuses on the management strategy of EPC general contracting of power engineering.

Keywords: electric power engineering; EPC general contracting; design and management strategy

引言

随着全球能源需求的持续增长，特别是在发展中国家，电力工程作为基础设施建设的重要组成部分，其规模和复杂性不断增加。为了满足这一需求，电力工程 EPC（设计－采购－施工）总承包模式应运而生。这种模式通过将设计、采购、施工等各个阶段整合为一个整体，实现了项目管理的高效化和资源的优化配置。电力工程 EPC 总承包项目的实施对于促进电力产业的发展和提高能源利用效率具有重要意义。首先，它有助于缩短项目周期，降低项目成本，从而提高投资回报率。其次，通过整合各方资源和优势，可以提升项目质量和技术水平，推动电力工程技术的创新和进步。最后，这种模式还有利于加强国际合作与交流，推动电力工程领域的全球化发展。

一、电力工程 EPC 总承包设计管理的内容

电力工程是推动当前社会经济发展的主要动力源，其在发展的过程中保持良好的发展态势是获得经济效益和社会效益的重要基础，而电力工程管理工作起到了重要作用，想要使电力工程的发展更加顺利，就必须对电力工程管理模式进行创新，做到与时俱进。作为电力工程管理的主要部门，建筑单位应充分认识到电力工程管理的重要性，从而通过有效的管理提高电力行业的整体质量，使其能够满足民生发展的具体要求，这就需要电力工程管理单位对创新模式进行全面的应用，并总结相关难点和重点，采取有效措施推动创新模式的具体应用，保证管理质量的显著提高，从而为电力工程管理工作的顺利开展提供保障。另外，项目投资成本与管控模式在电力工程管理中的应用应做到全面性，使其落实到各个管理环节，从而建立起具有规范性、程序化、科学性的管理模式，以此为电力工程行业的健康发展奠定良好的基础 [1]。

作者简介：王岳华（1967-），男，汉族，湖南省新邵县人，高级工程师，大学本科，研究方向：电力工程设计与管理。

通常情况下，电力工程的建设周期都很长，建设规模也很大，在建设过程中需要耗费大量资金，因而每一个细节都应被充分重视，尤其是对于施工中的材料、工具、技术等方面，都需要仔细检查，确保每一个环节都不会出现问题。此外，施工人员的操作水平也是至关重要的，需要对其进行严格的培训和考核，以确保每一个操作都符合标准。在施工过程中，任何一个环节如果有任何的疏漏和问题，都会严重地影响到电力工程的施工工作。所以，各单位必须密切配合，充分利用各部门的力量，调整施工顺序，确保每一个施工环节都能顺利地进行。电力工程 EPC 总承包设计管理中，材料与设备控制是其中一个关键环节，必须加强对材料和设备的管理，以提高整个建筑工程的施工质量和整体操作水平。然而，在建筑建材装备控制技术的运用中，由于材料、设备种类繁多，施工人员往往会在使用过程中出现不合理操作，从而影响到整个材料、设备的使用质量。针对这种情况，实际要求施工技术人员严格执行材料、设备控制技术，提高材料、设备的使用质量，从而有效地推动工程项目的高质量建设 [2]。

二、电力工程 EPC 总承包设计管理的意义

EPC 总承包模式作为一种新型的项目管理模式，以其一体化管理、责任明确和风险转移的优势，越来越受到电力工程领域的重视。通过分析 EPC 模式在电力工程设计阶段的优势及挑战，提出了优化设计管理的策略，以期为提高电力工程项目的整体效益提供借鉴 [3]。

电力工程 EPC 总承包设计工作不仅仅涉及到的范围非常广，还有繁杂的工作流程以及与不同专业的人员沟通交流，增大了电力工程 EPC 总承包项目设计管理的难度。本文以总承包商的视角，建立并分析设计管理体系的框架，提出相应的设计管理策略，旨在加深人们对设计管理体系的认识，并为 EPC 总承包模式的设计管理发展提供一定的借鉴意义。电力工程作为促进国家和地区经济发展的一个全新选择，其背后的补贴缺口更是不言而喻，近年来，补贴退坡以及平价政策的贯彻，助推了新能源摆脱补贴的依赖，从自身出发提升市场竞争力，推动新能源产业技术和管理的进步，预示了新能源正式步入“后补贴时代”。论文将从电力工程 EPC 总承包项目设计管理的角度出发，优化技术方案、节约成本和时间，不仅能给新能源项目各方企业增加经济效益，同时也能增加社会效益 [4]。

三、EPC 模式在电力工程设计管理中的挑战

（一）设计管理复杂度增加

由于 EPC 模式下设计与施工的紧密结合，设计管理的复杂度显著增加。承包商需要在短时间内完成高质量的设计工作，并且要保证设计成果能够顺利实施，这对设计团队的综合能力提出了更高的要求。

（二）责任与风险分担问题

虽然 EPC 模式下责任主体明确，但在实际操作过程中，设计、采购和施工之间的界限仍然存在一定的模糊地带。承包商需要在合同中明确各阶段的责任和风险分担机制，避免在项目实施过程中出现推诿和争议。

（三）技术和管理能力要求高

EPC 模式对承包商的技术和管理能力提出了更高的要求。承包商不仅需要具备强大的设计能力，还需要拥有丰富的采购和施工管理经验，以确保项目的顺利推进和成功完成 [5]。

四、电力工程 EPC 总承包设计管理策略

（一）电力工程设计进度管理策略

1.制定详细的进度计划，根据项目的复杂程度、规模、紧急性、对细节的掌握程度以及整个项目的进度对设计工作进行分析和整合，从而列出主要设计任务。2.实行设计进度动态管理，为了有效地管理项目进度计划，可以采用动态跟踪方式来监测本月的进展情况并预测未来三个月的情况。此外，还可以提前编制内部和外部接口计划，并根据实际情况不断更新和调整这些计划。另外，还可以按照设计进度计划的要求对整个计划进行管理。在项目执行过程中，应该时刻注意计划进度的执行情况，如果偏离进度计划，必须认真分析出现偏离的具体原因，当必要时，需要采取合理有效的调整措施，以确保项目进度按照总体进度目标进行，并保持整个设计工作始终处于可控状态。3.定期开展设计进度协调会。每周针对每个项目都会召开一次设计进度协调会，有关的设计人员都应参与，另外每两周举行一次所有设计人员参与的设计协调会，并制作会议纪要，以确保工作得以最终实施。设计进度协调会有助于管理人员掌握设计进度，也有助于各方交流专业技术和设计管理方面的问题，同时也是各设计单位之间信息交流的平台 [6]。

（二）电力工程设计质量管理策略

1.实行设计项目制，近些年来，由于政策的开放，新能源项目逐渐增多，采用设计项目制能有效地对项目进行管理，设总全程对项目进行把控能更好地提高效率和质量。项目团队的成功离不开团队成员之间的协作与沟通。作为项目管理者，要注重内部团队、业主、外部单位之间的沟通与协调，这也是项目管理的重要组成部分。确保团队内部专业人员之间的合作，以及与其他相关单位和个人的有效沟通和协调，对于项目的成功实现至关重要。2.严格执行三级校审和会签制度，在设计项目的过程中，涉及到专业与专业之间、专业内部的沟通与交流，若是没有将三级校审和会签制度做到位，设计的质量没有办法得到保障。3.设置专业工程师，电力工程涉及到的规程、规范、手册标准很多，每个卷册的设计内容相通，不妨为每个卷册设置专业工程师，这样的话，新员工都可以从精通一个卷册开始，慢慢学习，最终达到专业工程师的水平，从而提高设计的质量 [7]。

（三）电力工程设计人员管理策略

电力工程 EPC 总承包项目的设计具有更高的要求，需要设计师具备传统建筑设计及其它领域的设计能力。这主要体现在以下几个方面：首先，设计的内容更加复杂，需要关注设计施工搭

接，注重项目的工期。其次，设计的要求更加严格，不仅要着重考虑设计的使用功能，更需要关注项目的经济性。因此，设计人员的能力水平要求更高，需要经过专业的培训，并不断提升自己的专业技能。设计人员除需要技术能力外，还需要有全局意识，必要的造价概念和良好的沟通能力，然而，经过长时间高强度的工作，大量的资深设计人员逐渐失去了职业地位和身体素质，因此纷纷离开了设计行业。EPC总承包单位要大力招聘全面的、专业的综合性管理人员，如果要培养出具备强大综合能力的管理人员，需要先在设计机构内部挖掘潜力，重点培养那些具有出众潜质的人才；其次，需要引进经验丰富、综合能力全面的优秀人才；最后，从政策层面上，国家及相关机构需要从选拔和培训的角度出发，培养一批高素质、全面发展的人才，以真正实现设计实力、组织管理、分包管理等各个方面的集成[8]。

（四）电力工程设计创新管理策略

鼓励应用新技术、新设备、新材料。作为工程设计的重要组成部分，创新方法贯穿于整个工程技术设计过程。工程设计的创新方法包括集体激励机制、追溯性提问、组合式创新以及类比联想等方法。设计创新需要找到切入点，做到有的放矢。通过对“新技术、新设备、新材料”的选择应用作为输变电工程设计的重点。1.新技术，在当前电力技术快速发展的背景下，电力新技术也得到迅速发展。仅仅变电部分就有：①特高压变压器新技术；②特高压开关设备新技术；③特高压气体绝缘金属封闭输电线路技术；④特高压支柱绝缘子及空心绝缘子技术；⑤特高压交流油-SF6套管；⑥新一代特高压气体绝缘金属封闭开关设备技术；⑦柔性直流及直流电网技术；⑧特高压可控避雷器技术。这些新技术能降本增效、改善环境和提高管理水平，实现电力技术的升级和跨越，电力工程EPC总承包项目若是能在考虑经济性的前提下运用新技术，必定能获得好评。2.新设备，近年来，由于电网调频、调峰及备用电源的需求，储能技术得到了迅速发展。储能单元可以随时间改变需求并补偿发电和需求之间的实时差异，从而改善系统运营灵活性并减少可再生能源弃电。储能变流器的控制器可以实现动态调节无功功率，具有成本效益。储能在新能源领域的作用主要是跟踪调度计划指令、平滑出力波动、提升新能源消纳水平等[9]。

（五）电力工程设计角度成本管控策略

首先，在EPC总承包项目的投资成本控制过程中，相关管控的实施可在设计源头阶段开始，将预算编制与初步设计阶段进行有机结合，电力工程EPC总承包项目在设计过程中可通过限额手段进行细致化的设计，注重可行性的管控，这有利于促进设计与概预算的符合性，也为招投标环节的报价合理性提供参考。其次，在进行工程项目设计前，设计人员应与项目发包方进行充分的沟通，以此为项目的功能进行详细的了解，并为设计意图提供指导，另外设计人员还需要对招投标相关文件进行详细了解，有效地把握设计范围并了解相关技术及标准，在整个设计过程中全面落实限额设计，确保投标阶段的估算与实际设计符合度高。最后，对设计过程中的方案设计深度进行有效的把控，同时设计方案的落实需要详细地评估保险方案，工程费用受到保险系数的直接影响，若保险系数较高会导致费用增加，若过低会导致较大的风险产生。因此在设计方案的选择上应做到认真负责，并通过市场调研进行材料价格的控制，以此促进技术指标符合要求，并进行成本造价的合理控制[10]。

五、结束语

2021年3月15日，国家主席习近平提出了构建以新能源为主体的新型电力系统。新能源将成为主要的电力供应来源，也是实现“碳达峰·碳中和”战略目标的重要途径。文章针对电力工程EPC总承包设计管理的问题和挑战，对这些问题进行了讨论和研究，分别从项目进度管理、质量管理、人员管理、创新管理等方面提出了符合电力工程EPC总承包设计管理特征的策略。EPC总承包模式在电力工程领域广泛应用，因其集成化管理和全责任承包的特点，能够提高项目的执行效率和履约质量。在电力工程EPC总承包项目中，风险管理是确保项目成功的重要环节。通过科学的风险管理方法和策略，可以识别、评估和控制项目中的各类风险，制定相应的应对措施和风险管理计划，以最大程度地降低风险对项目的影响，保证质量、安全和进度的控制，确保项目顺利实施和交付。研究电力工程EPC总承包项目设计管理可以为电力工程行业提供科学的管理理念和方法，帮助项目管理者和相关利益方更好地理解和应对项目中的风险，实现项目的成功交付和可持续发展。

参考文献

[1]殷甜甜. 电力工程EPC总承包化学专业常见技术问题总结[J]. 中国设备工程，2022(18):240-241.

[2]席康庆. 电力工程EPC模式的策略分析[J]. 电子技术，2021,50(12):86-87.

[3]于歌. 电力工程EPC总承包项目采购管理[J]. 科技资讯，2021,19(33):77-79.

[4] 耿殿宇. 电力工程EPC总承包管理模式分析与研究[J]. 水利电力技术与应用，2022,4(2).

[5] 韩春晖，徐姗姗. 电力工程EPC总承包管理模式探究[J]. 建筑工程技术与设计，2020,10(11):2451.

[6]单川，刘春丽. EPC总承包模式在电力工程设计管理中的应用研究[J]. 电工技术，2023,(S1):229-231.

[7]吴超，李庆勋. 基于P6软件的国际EPC项目进度管理与控制[J]. 项目管理技术，2015,13(07):71-75.

[8]武金龙，郝军斌，唐华. EPC总承包项目管理模式的实践应用研究[J]. 四川建材，2021,47(9):200-201,207. DOI:10.3969/j.issn.1672-4011.2021.09.102.

[9]李明. EPC总承包模式下的项目进度管理措施[J]. 四川建材，2023,49(03):219-221+244.

[10]蒋梦菲. 基于EPC模式的项目进度管理研究[J]. 项目管理技术，2020,18(9):106-110. DOI:10.3969/j.issn.1672-4313.2020.09.020.

电气自动化技术在电力系统中的应用探析

吴黄钰

贵州金元智慧能源有限公司，贵州 贵阳 550025

摘　　要： 伴随着国内科技技术水平的提升，电气自动化技术在电力设备内部的应用更加普遍，如何使用自动化技术来使电力系统更稳健的运作，是目前的公司发展有多种特殊解决的问题。在电力系统中，自动化技术研究相对比较晚，但是国内也取得了更好的发展成果，国内自动化技术与国外发达国家的技术有一定差距。随着科学技术的快速发展，电气自动化技术在电力系统中得到广泛应用，不仅提高了电力系统的运行效率和稳定性，也促进了智能电网的建设和发展。本文旨在探讨电气自动化技术在电力系统中的具体应用，分析其技术特点与应用价值。

关 键 词： 电气自动化技术；电力系统；特点；价值；应用探析

Exploration on the Application of Electrical Automation Technology in Power Systems

Wu Huangyu

Guizhou Jinyuan Smart Energy Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550025

Abstract: With the improvement of domestic technological level, the application of electrical automation technology in power equipment has become more common. How to use automation technology to make the power system operate more stably is currently a special problem that companies need to solve in their development. In the power system, the research on automation technology is relatively late, but China has also achieved better development results. There is a certain gap between domestic automation technology and that of developed countries abroad. With the rapid development of science and technology, electrical automation technology has been widely applied in the power system, which not only improves the operational efficiency and stability of the power system, but also promotes the construction and development of smart grids. This article aims to explore the specific application of electrical automation technology in the power system, analyze its technical characteristics and application value.

Keywords: electrical automation technology; power system; characteristic; value; application analysis

引言

电气自动化技术作为现代工业的重要组成部分，融合了电子技术、信息处理技术和网络通信技术等先进技术，为电力系统的智能化和自动化提供了强有力的技术支持。在电力系统中，电气自动化技术的应用涵盖了发电、输电、配电和用电的各个环节，实现了电力系统运行状态的实时监测、故障自动诊断和处理等功能，对于提高电力系统的安全性、经济性和可靠性具有重要意义。

一、电气自动化技术的特点

（一）全面性和集成性

电气自动化技术的综合性和集成性是其显著的核心特征之一，这一特点体现在，它不仅仅是单一技术的堆砌，而是电子技术、计算机技术、控制技术乃至通信技术等各种高科技领域的深度融合和交叉应用。在电力系统中，这个综合技术体系就像一台精密的机器，所有的部件(也就是各种技术)协同工作，驱动着电力系统的每一个细微环节，从电厂的自动控制到电网的智能调度，从输电网的实时监控到配电系统的优化管理，电气自动化技术以其强大的综合性和集成性，实现了电力系统的全链条、全方位的高效管理和精确控制。[1]具体来说，电子技术的应用为电气自动化提供了硬件基础，使得各种智能设备和传感器广泛应用于电力系统，计算机技术为数据处理和决策支持提供了强大的计算支持，使得海量的电力系统数据能够被快速分析并转化为有价值的决策信息，随着控制技术的应用，这些决策信息可以转化为实际的控制指令，实现电力系统的自动调节和优化，另外，通信技术作为信息传递的桥梁，保证了电力系统各环节之间信息的畅通，

作者简介：吴黄钰（1991.08-），女，汉族，贵州贵阳人，硕士研究生，研究方向：电气自动化。

为整个系统的协同工作提供了可靠的保障。

（二）实时监控和自动控制

电力系统电气自动化技术的实时监控和自动控制功能是提高系统运行效率和稳定性的关键，电气自动化技术通过在电力系统中广泛安装传感器和数据采集装置，可以实现对电力系统运行状态的全方位、全天候监控，这些智能设备就像电力系统的“眼睛”和“耳朵”，时刻关注着系统的每一个细微变化，并将采集到的数据实时传输到控制中心。[2]在控制中心，先进的计算机系统和算法处理和分析这些数据，提取关键信息，并生成相应的控制指令，这些指令再送到电力系统的各种执行机构，如断路器、变压器等，实现电力系统的自动控制，与传统的手动控制相比，这种基于实时数据的自动控制方法具有更高的精度和响应速度，能够及时发现和纠正电力系统中的异常情况，保证系统的稳定运行。此外，电气自动化技术还具有自适应学习的能力，通过对历史数据的分析和学习，系统可以不断优化控制策略，提高控制精度和效率，这种智能化、自动化的控制方式不仅降低了工人的劳动强度，而且提高了电力系统的整体运行水平。[3]

（三）故障诊断和自动恢复

当电力系统发生故障时，传统的人工故障排除方法往往耗时长、效率低，电气自动化技术可以通过实时监测和数据分析，快速识别故障类型和定位故障位置，这种快速准确的故障诊断能力为后续的故障处理提供了有力的支持。故障定位后，电气自动化系统可根据预设的故障处理方案采取相进行隔离和恢复，比如，对于电网中的短路故障，系统可以自动切断故障线路，启动备用电源，对于设备故障，系统可以发送维护指令，提醒工作人员及时处理，这种自动故障恢复机制大大降低了故障对电力系统的影响范围和时间长度，保证了电力系统的连续运行和供电可靠性。[4]此外，电气自动化技术还具有自我修复的能力，在一些轻微故障或异常情况下，系统可以通过自我调整和优化恢复正常运行，无需人工干预，这种自愈能力不仅提高了电力系统的自愈能力，还降低了运行维护成本。

二、电气自动化技术在电力系统中的应用的深远价值

（一）辅助决策价值

电气自动化技术在电力系统中的应用为决策者打开了一扇准确高效管理的大门，这项技术不仅提供了海量的实时运行数据，还通过先进的数据分析算法将这些数据转化为有见地的信息，这些信息涵盖了电力系统的方方面面，从发电、输电到配电，甚至终端用户的用电行为，都可以详细反映出来，利用这些数据，研究人员和技术人员可以深入分析电力系统的运行规律，预测未来的负荷趋势，评估设备的健康状况，甚至可以模拟不同决策方案下的系统响应，这种基于数据的决策支持大大提高了决策的准确性和科学性，帮助管理者在复杂多变的电力环境中做出最佳选择，从而促进电力系统的不断优化升级。[5]此外，电气自动化技术也促进了电力系统的透明管理，通过构建可视化的监控平台，管理人员可以直观地了解电力系统的运行状态，包括电网的拓扑结构、设备的运行状态、负荷的分布等，这种透明管理不仅提高了管理效率，也增强了管理者对电力系统的掌控力，为快速应对突发事件、制定应急措施提供了有力保障。

（二）经济价值

电力系统电气自动化技术的经济价值体现在多个方面，该技术通过提高系统的自动化和智能化水平，显著降低了人力成本和运维成本，传统的电力系统运维需要大量的人力投入，而电气自动化技术的应用实现了设备的远程监控和自动控制，减少了现场巡检和人工干预的频率，从而降低了人力成本，自动控制还能及时发现和处理潜在的故障，避免故障造成的停机损失和维修费用。电气自动化技术提高了电力系统的能源利用效率，该技术通过优化电网的调度策略和发电机的运行参数，实现负荷的均衡分配和能量的最大利用，减少能量的浪费和损失，智能电网的建设还促进了分布式能源和可再生能源的接入和消费，进一步提高了能源利用的多样性和可持续性。[6]电气自动化技术也促进了电力市场的发展和繁荣，该技术通过构建市场化的电力交易平台和实时电价机制，促进电力资源的优化配置和高效利用，同时，也为电力企业和用户提供了更多的选择和灵活性，促进了电力市场的竞争和创新。

（三）社会价值

电气自动化技术在电力系统中的应用不仅具有重大的经济价值，而且具有重要的社会价值，该技术促进了智能电网的建设和发展，提高了全社会的电力技术水平和供电质量，智能电网通过集成先进的通信技术、信息技术和控制技术，实现对电力系统的全面感知、智能分析和快速响应，这种智能电力系统不仅提高了供电的可靠性和稳定性，而且增强了电网的灵活性和适应性，能够更好地满足社会经济发展的需要。[7]电气自动化技术的应用有助于解决能源短缺和环境污染等社会问题，该技术通过优化能源配置，提高能源利用效率，可以减少对传统能源的依赖和消耗，减少碳排放和环境污染，智能电网的建设也为分布式能源和可再生能源的接入和消纳提供了有力支持，促进了清洁能源的开发和利用。电气自动化技术也促进了相关行业的发展和社会进步，随着智能电网的建设和电力市场的开放，越来越多的企业开始涉足电力领域，带动了电力设备制造、软件开发、数据分析等相关行业的发展，同时，智能电网的智能化、互动化特征也为用户提供了更加便捷高效的用电体验和服务模式，推动了社会生活的现代化和智能化进程。

三、电力系统电气自动化技术的深入应用

（一）电网调度自动化全面展开

电网调度自动化不仅是电力系统的心脏，也是电气自动化技术深度应用的典范，该系统集成了先进的计算机技术、通信技术和控制技术，实现了对电网运行状态的全面实时监控，电网调度自动化系统通过收集和分析各发电厂、变电站和用户的海量数据，能够准确预测负荷和计算潮流，为调度员提供直观、科学的决策支持，这种智能调度模式不仅提高了电网调度的准确性和效

率，也大大降低了人为判断失误导致的电网事故风险。此外，电网调度自动化系统还具有很强的故障预警和应急响应能力，当电网出现异常或故障时，系统能够快速识别并触发相应的应急预案，通过自动调整电网结构和切换备用电源，保证电网的稳定运行和持续供电，这种自动应急机制不仅减少了停电时间和范围，还提高了电网的可靠性和韧性。[8]

（二）电厂自动化的深度优化

发电厂作为电力系统的能源，其自动化水平的提高对整个电力系统的运行效率和安全至关重要，电气自动化技术在电厂的应用涵盖了发电机组、辅助设备、信息化等多个方面。在发电机组方面，自动化技术实现了发电机组的自动启停、负荷调节和故障诊断等功能，该系统通过实时监测发电机组的运行状态和性能参数，自动调整发电机组的输出功率和负荷分配，保证发电机组高效稳定运行。同时，当发电机组发生故障时，系统能够快速定位故障点，并采取相应的隔离措施，防止故障扩大，对电网造成更大的冲击。在辅助设备方面，电气自动化技术也发挥了重要作用，通过辅助设备的自动控制，如水泵、风机、冷却系统的智能调节和优化运行策略的制定，电厂可以进一步提高能源利用效率，降低运行成本。[9]此外，电厂信息化水平的提高也为电厂运行管理和决策支持提供了强有力的支持，通过建设数字化、网络化的电厂信息平台，电厂可以实现生产数据的实时采集、处理和分析，为电厂的优化调度和节能降耗提供科学依据。

（三）供电系统自动化覆盖面广

供电系统自动化是电力系统电气自动化技术的另一个重要应用领域 这个领域包括变电站自动化和配电自动化。作为电网的重要节点，变电站自动化水平的提高对提高电网运行的效率和可靠性具有重要意义。通过安装智能设备，建设变电站自动化系统，变电站可以实现对其运行状态和设备的全面监控和自动控制，这种自动监控模式不仅提高了变电站的运行效率和安全性，还降低了人工干预和误操作的风险。配电自动化是供电系统自动化的重要组成部分，通过建设配电自动化系统，实现对配电网的实时监控、快速故障定位和恢复，配电系统可以显著提高供电可靠性和服务质量，配电网发生故障时，配电自动化系统能够快速识别故障类型和位置，自动隔离故障区域，并启动备用电源或恢复供电路径，确保满足用户正常用电需求，不仅减少了停电的时间和范围，而且提高了供电系统的应急能力和韧性。

（四）高效的信息传输自动化建设

信息传输自动化是电力系统电气自动化技术不可缺少的一部分，信息传输自动化系统通过构建高效稳定的信息传输网络，实现电力系统各环节之间的信息共享和交互，为电力系统的运行管理提供全面的数据支持，该系统不仅实现了对电力系统运行的实时监控和数据分析，还提供了远程监控和故障诊断，这使得电力系统管理人员能够随时随地掌握电力系统的运行和设备状态，及时发现和解决问题。[10]此外，信息传输自动化系统还支持多种通信协议和接口标准，可以实现与不同厂商、不同设备的无缝对接和互联，从而提高电力系统的整体智能化水平和互操作性。

四、结语

伴随着当前国内社会发展，社会公众和企业生产经营，对于电能的需求量日益激增，因此，社会企业和公众对电力系统稳健运作提出严格要求，数据信息技术计算机控制装置发展，也使电力自动化技术在国内的电力系统中得到广泛的应用，电力系统自动技术发展在系统控制引入，也显示出了更强智能性；在理论应用方面，也具备远程操控性能，可使用电力元器件和微机芯片及相应电子化技术及相应的自动化信息模型。

参考文献

[1]姚继荣. 电气自动化技术在电力系统中的应用研究［J］. 电子测试，2019.

[2]李强，张钰. 电气自动化技术在电力系统中的应用分析［J］. 商情，2019,000(003):223.

[3]蕾李，勇张. 电气自动化技术在电力系统中的应用研究［J］. 水电水利，2020,4(4).

[4]齐生林，李宝华. 浅谈电气自动化技术在电力系统及火力发电中的应用［J］. 百科论坛电子杂志，2020.

[5]史力思. 探讨电气自动化技术在电力系统中应用现状和发展趋势［J］. 2021(2014-18):63-63.

[6]崔新军. 电气工程及其电气自动化的控制系统应用［J］. 中小企业管理与科技（下旬刊），2021(03):182-183.

[7]孙铭泽. 电气自动化技术在电气工程中的应用现状及发展趋势［J］. 南方农机，2020,51(24):187+193-194.

[8]杨东，王辉，任鹏行. 电气工程及自动化中存在的问题以及解决对策分析［J］. 科技风，2020(20):154-155.

[9]陶进秋. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用研究［J］. 光源与照明，2024,(04):219-221.

[10]张少峰. 电气自动化技术在新能源系统中的应用［J］. 电子技术，2024,53(04):280-281

自动化技术在电力系统故障恢复中的应用

叶茎

贵州西电电力股份有限公司，贵州 毕节 551800

摘　　要： 本文深入探讨了自动化技术在电力系统故障恢复中的全面应用，包括实时监控、故障诊断、故障处理及自动调节等关键环节。通过引入先进的自动化技术，电力系统能够实现对故障的即时监测、精准诊断、快速处理及自动调节，从而显著提升电力系统的稳定性和可靠性，确保电力供应的连续性和安全性。

关 键 词： 自动化技术；电力系统；故障恢复；实时监控

Application of Automation Technology in Power System Fault Recovery

Ye Pei

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

Abstract: This paper deeply discusses the comprehensive application of automation technology in the fault recovery of power system, including real-time monitoring, fault diagnosis, fault processing and automatic adjustment and other key links. Through the introduction of advanced automation technology, the power system can realize the real-time monitoring, accurate diagnosis, rapid processing and automatic adjustment of faults, so as to significantly improve the stability and reliability of the power system, and ensure the continuity and security of the power supply.

Keywords: automation technology; power system; fault recovery; real-time monitoring

电力系统作为现代社会的重要基础设施，其稳定运行直接关系到经济社会的持续发展和人民生活的正常进行。然而，电力系统在运行过程中不可避免地会遇到各种故障，如何快速、准确地恢复故障成为电力系统运维的重要课题。自动化技术的引入，为电力系统故障恢复提供了强有力的技术支持，显著提高了故障处理的效率和准确性。

一、实时监控技术在电力系统故障恢复中的应用

（一）全面监测与数据采集

在电力系统故障恢复的关键环节中，实时监控技术发挥着至关重要的作用。为了实现这一目标，电力系统广泛部署了高精度、高可靠性的传感器和监测设备，这些设备如同电力系统的“眼睛”，全天候、不间断地监视着各个关键节点的运行状态。从发电站的发电机组到变电站的变压器，再到错综复杂的输电线路和配电网络，每一个重要环节都被纳入到了监测范围之内[1]。这些传感器能够实时采集电压、电流、功率等关键数据，确保数据的准确性和时效性。电压的稳定与否直接关系到电力设备的安全运行，而电流的流向和大小则反映了电力系统的负荷状态和潮流分布。功率数据则进一步揭示了电力系统的能量转换和传输效率。这些数据通过先进的通信技术被快速传输至数据处理中心，经过专业的软件平台进行分析和处理，为电力系统的故障预警和诊断提供了丰富、详实的基础数据支持。

（二）异常检测与预警

在实时监控技术的支撑下，电力系统故障恢复流程中的异常检测与预警环节变得尤为关键且高效[2]。系统利用先进的数据分析算法，对实时采集的海量数据进行深度挖掘与智能分析，精准捕捉数据中的异常模式或突变点。一旦数据偏离正常范围，如电压骤降、电流激增或功率失衡等，系统能立即识别并判定为异常情况，随即触发预设的预警机制。预警机制的高效运作，确保了信息的迅速传递与响应。运维人员通过手机短信、电子邮件或系统弹窗等多种方式接收到预警信息，第一时间了解故障前兆或初期症状，从而能够迅速集结资源、制定应对策略，并准备采取必要的预防措施或紧急响应措施。

（三）状态评估与预测

在电力系统故障恢复的精细化管理中，实时监控技术通过深度融合历史数据与实时数据，为电力系统的状态评估与预测开辟了新的路径。这一环节不仅关乎对当前系统健康状况的全面审视，更着眼于对未来潜在故障的精准预测，为预防性维护策略的制定奠定了坚实基础。系统首先利用高效的数据采集机制，不间断地收集来自各个关键节点的实时数据，同时调取历史数据库中存储的丰富历史记录。随后，通过应用复杂的数据分析技术，如时间序列分析、数据挖掘算法及机器学习模型等，对海量数据进行深度剖析与模式识别[3]。这一过程中，系统能够自动提取出影响电力系统运行状态的关键因素，如设备老化趋势、负荷波动规律及外部环境变化等，进而构建出精准的运行状态评估模型。基于该模型，系统能够实时评估电力系统的整体健康状况，并预测

作者简介：叶茎（1995.02-），男，汉族，贵州遵义人，本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

未来一段时间内可能出现的潜在故障风险。这些预测不仅涵盖了故障的类型、位置及可能的影响范围，还提供了故障发生的概率及时间窗口等关键信息。运维团队根据这些预测结果，可以提前制定针对性的预防性维护计划，合理安排检修任务，优化资源配置，从而有效避免故障的发生或减轻其影响，进一步提升电力系统的可靠性和稳定性。

二、故障诊断技术在电力系统故障恢复中的应用

（一）智能诊断算法

在电力系统故障恢复的复杂场景中，智能诊断算法的应用极大地提高了故障诊断的效率和准确性[4]。这些算法，如神经网络和支持向量机，凭借其强大的数据处理和模式识别能力，成为了电力系统故障诊断领域的重要工具。神经网络通过模拟人脑神经元的连接方式和信息处理机制，能够自动学习并提取数据中的特征信息，构建起故障类型与异常数据之间的映射关系。当监测到电力系统中的异常数据时，神经网络能够快速响应，对这些数据进行深入分析，并基于已学习的知识库，准确诊断出故障的类型和可能的位置。而支持向量机则通过在高维空间中寻找最优分类超平面，将不同类别的数据有效区分开来。在电力系统故障诊断中，支持向量机能够利用少量关键样本数据，构建出高效的分类模型，对复杂的故障模式进行准确识别。智能诊断算法的应用，不仅缩短了故障诊断的时间，降低了人工干预的需求，还提高了诊断结果的可靠性。

（二）故障模型匹配

在电力系统故障诊断的实践中，故障模型匹配技术扮演着至关重要的角色。为了提升诊断的精确度和效率，电力系统运维团队会事先构建一个详尽的故障模型库[5]。这个模型库是基于历史故障案例、专家经验以及系统特性等多方面信息精心设计的，涵盖了电力系统可能遇到的各种故障类型及其对应的特征表现。当系统监测到异常数据时，故障诊断系统会立即启动模型匹配流程。通过高效的算法，系统将实时采集的数据与故障模型库中的数据进行逐一比对，寻找最为吻合的故障模式。这一过程不仅涉及数据的直接匹配，还包括对异常数据特征的深入分析和综合评估，以确保匹配结果的准确性和可靠性[6]。一旦匹配成功，系统便能迅速确定故障的类型和可能的原因，为后续的故障处理提供有力的支持。运维人员可以根据模型匹配的结果，快速定位故障源头，了解故障发生的机理和可能的影响范围，从而制定出更加科学合理的故障恢复方案。

（三）专家系统辅助

在电力系统故障诊断的复杂过程中，专家系统的引入为故障诊断提供了更为全面和深入的辅助决策支持。专家系统是一种基于专家知识和经验的智能系统，它模拟了人类专家在故障诊断中的思维方式和决策过程，通过整合大量的专家知识库和推理机制，为电力系统故障诊断提供了强大的智力支持。专家系统不仅包含了电力系统各类故障的特征描述、诊断流程和处理方法，还融入了专家们在长期实践中积累的宝贵经验和教训。在故障诊断过程中，专家系统能够根据实时监测到的数据，自动调用相关知识库中的信息和规则，进行逻辑推理和判断，辅助运维人员快速准确地诊断出故障类型和原因。此外，专家系统还具备自我学习和优化的能力。通过不断接收新的故障案例和诊断结果，专家系统能够自动更新知识库，优化推理机制，提高诊断的准确性和可靠性。这种持续的学习和改进，使得专家系统能够紧跟电力系统发展的步伐，适应各种新型故障的诊断需求。

三、故障处理技术在电力系统故障恢复中的应用

（一）快速隔离故障区域

在电力系统故障处理的紧急阶段，快速隔离故障区域是至关重要的一步。一旦故障诊断技术确认了故障的具体位置和类型，系统便立即启动隔离程序，以确保故障不会进一步蔓延，对整个电力系统造成更大的损害[7]。为了实现快速隔离，电力系统通常配备了先进的保护设备和自动控制系统。这些设备能够实时监测电力系统的运行状态，并在检测到异常或故障信号时迅速响应。通过精确的逻辑判断和协调控制，系统能够自动切断故障区域与正常区域的电气联系，将其从主电网中隔离出来。快速隔离故障区域的好处是显而易见的。一方面，它有效防止了故障电流和电压的进一步传播，避免了更多设备受到损害。另一方面，隔离措施为后续的故障抢修和恢复工作创造了安全的环境，降低了运维人员的风险。同时，快速隔离还减少了故障对电力系统稳定性和供电可靠性的影响，保障了用户的正常用电需求。

（二）自动切换与恢复

在电力系统故障处理的核心环节，自动切换与恢复技术的应用是确保电力供应连续性和稳定性的关键。这一技术依托于先进的自动化装置和精密的控制系统，能够在故障发生后的极短时间内，自动触发一系列预设的切换和恢复操作，以最快速度恢复电力系统的正常运行。自动切换机制主要涉及到电源、负荷及线路的快速重新配置。当某个部分发生故障时，系统会自动识别并切断故障区域，同时迅速将负荷转移到备用电源或备用线路上，以维持电力供应的连续性。这一过程高度自动化，无需人工干预，显著缩短了故障恢复时间，减少了因停电造成的损失。而自动恢复技术则进一步提升了电力系统的自愈能力。它通过对故障后系统的全面评估和优化调整，自动恢复系统的正常运行状态，甚至在某些情况下能够预防类似故障的再次发生。

（三）远程操作与指导

在电力系统故障处理的现代化进程中，远程操作与指导技术的应用极大地提升了故障处理的效率和安全性[8]。这一技术依托于先进的远程监控系统和高速通信网络，使得运维人员能够跨越地理界限，对电力系统进行实时、全面的监控，并在必要时进行远程操作。远程操作功能赋予了运维人员前所未有的灵活性。他们可以通过控制中心的计算机界面，直接控制远端的电力设备，如断路器、隔离开关等，执行隔离故障区域、切换电源等关键操作。这种即时响应能力大大缩短了故障处理时间，降低了对现场人员的依赖，提高了整个故障处理流程的自动化水平。同时，远

程指导功能也为现场人员提供了强有力的支持。运维人员可以通过视频通话、实时消息等方式，与现场人员保持密切沟通，指导他们按照预定的故障处理方案进行操作。

四、自动调节技术在电力系统故障恢复中的持续作用

（一）动态调整运行参数

在电力系统故障恢复过程中，自动调节技术发挥着持续且关键的作用，其中动态调整运行参数是核心环节之一。这一技术通过实时监测电力系统的运行状态和故障情况，利用先进的控制算法和策略，对电压、电流等关键运行参数进行精准调节，以确保系统能够在各种复杂工况下保持稳定运行。在故障发生后，电力系统的运行状态往往会发生急剧变化，导致电压波动、电流不平衡等问题。此时，自动调节系统会迅速响应，根据实时数据反馈，自动调整发电机的输出功率、变压器的变比以及无功补偿装置的投入等，以恢复电压的稳定性和电流的平衡性。这种动态调整不仅有助于减轻故障对系统的影响，还能有效防止故障的进一步扩大[9]。此外，自动调节技术还具备自适应能力，能够根据系统的实际运行情况和外部环境的变化，自动优化调整策略。例如：在负荷高峰期，系统会自动增加发电量，提高电压水平，以满足用户需求。

（二）优化资源配置

在电力系统故障恢复的复杂过程中，自动调节技术还扮演着优化资源配置的重要角色。面对故障带来的电力供需失衡和电网结构变化，自动调节系统能够迅速分析当前电网的负荷分布、电源出力及线路传输能力，通过智能算法和策略，实现电力资源的优化配置。具体而言，自动调节技术会根据故障后的电网拓扑结构和负荷需求变化，动态调整各发电厂的出力计划，优先保障重要负荷的供电需求。同时，它还会优化电网的潮流分布，通过调整线路传输功率、改变电网运行方式等手段，减少输电损耗，提高电网的整体运行效率。此外，自动调节技术还能与储能系统、需求侧响应等先进技术相结合，进一步提升电力资源的灵活性和可控性。例如：在故障恢复初期，储能系统可以迅速释放存储的电能，为重要负荷提供临时供电。

（三）提升系统韧性

在电力系统故障恢复的过程中，自动调节技术的持续作用还体现在显著提升系统的韧性上。韧性，作为电力系统应对突发事件和故障的重要能力，是指系统在遭受冲击后能够迅速恢复并维持关键功能的能力。自动调节技术通过其强大的智能化和自动化特性，为电力系统构建了一道坚实的防线[10]。自动调节技术能够实时监测电力系统的运行状态，一旦发现异常或故障迹象，立即启动应急响应机制，通过快速调整运行参数、优化资源配置等措施，有效遏制故障的蔓延和扩大。同时，它还能与系统中的其他自动化设备和控制系统协同工作，形成一个高度集成的故障应对体系，确保在故障发生时能够迅速、准确地做出反应。此外，自动调节技术还具备自我学习和优化的能力。在每一次故障处理过程中，它都会积累宝贵的经验数据，通过数据分析和挖掘，不断优化自身的控制策略和算法，提高应对未来类似故障的能力。

五、结论

自动化技术在电力系统故障恢复中的应用，极大地提高了电力系统的稳定性和可靠性。通过实时监控、故障诊断、故障处理及自动调节等关键技术的综合应用，电力系统能够实现对故障的即时响应、精准诊断和快速恢复。未来，随着技术的不断进步和应用的深入推广，自动化技术将在电力系统中发挥更加重要的作用，推动电力行业向智能化、高效化方向发展。

参考文献

[1]杨泽栋. 面向韧性提升的区域电－气综合能源系统故障恢复与维修策略研究［D］. 东北电力大学，2023.

[2]逄宝中. 提升电力信息物理系统韧性的蓄意攻击防御及故障恢复策略研究［D］. 华北电力大学（北京），2022.

[3]郑海广. 基于GA-BFGS算法的配电网故障恢复性重构研究［D］. 中国矿业大学，2020.

[4]刘文霞，王荣杰，刘鑫，等. 柔性配电系统故障区间鲁棒优化恢复［J］. 中国电机工程学报，2020,40(12):3897-3907.

[5]谢国印. 电力系统自动化建设和继电保护的关系研究［J］. 光源与照明，2021,(01):112-113.

[6]孙铭泽. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探讨［J］. 南方农机，2020,51(22):189-190.

[7]唐浩. 面向人工智能的电力系统故障自动化无损诊断方法［J］. 自动化应用，2020,(04):106-107+111.

[8]杨兆实. 电力系统运行中电气工程自动化技术的运用［J］. 通信电源技术，2019,36(12):122-123.

[9]王敏捷. 关于信息自动化在电力系统中的运用［J］. 数码世界，2019,(07):278.

[10]秦雅然. 电力系统故障诊断应用技术的分析［J］. 科技与创新，2018,(10):157-158.

储能技术在新能源电力系统中的应用研究

刘培良

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 贵阳 550081

摘　　要： 随着时代的不断发展，人们的生活水平得到了很大程度上的提高。在能源方面也出现了很多新型能源，例如风能、太阳能等。这些新能源的出现给电力系统带来了一定的影响，使得电能的利用率出现了降低的现象。而储能技术的出现则为新能源电力系统的发展提供了一个良好契机。基于此，本文首先分析了储能技术在新能源电力系统中的应用现状，阐述了储能技术在新能源电力系统中应用的意义，并针对实际应用中存在的问题，提出了相应的优化策略，期望能为电力系统的发展做出贡献。

关 键 词： 储能技术；新能源电力系统；应用研究

Research on the Application of Energy Storage Technology in New Energy Power System

Liu Peiliang

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550081

Abstract: With the continuous development of the times, people's living standards have been greatly improved. In terms of energy, many new energy sources have also emerged, such as wind energy, solar energy, etc. The emergence of these new energy sources has brought a certain impact on the power system, which has reduced the utilization rate of electric energy. The emergence of energy storage technology provides a good opportunity for the development of new energy power systems. Based on this, this paper first analyzes the application status of energy storage technology in the new energy power system, expounds the significance of the application of energy storage technology in the new energy power system, and proposes corresponding optimization strategies for the problems existing in the practical application, hoping to contribute to the development of the power system.

Keywords: energy storage technology; new energy power system; applied research

引言

随着我国经济的不断发展，能源问题已经成为了困扰国家发展的重要因素。在这种情况下，需要对传统电力系统进行优化，提高电能利用率，使其能够满足社会发展需求。但由于传统电力系统的运行方式比较单一，因此，想要实现这一目标存在一定的困难。为此，很多专家学者都开始研究新能源技术，并将储能技术应用到了新能源电力系统中，以此来解决当前出现的问题。

一、储能技术在新能源电力系统中的应用现状

（一）储能技术概述

储能技术是新能源电力系统中不可或缺的一环，它能够有效地解决可再生能源发电的间歇性和不稳定性问题。目前，储能技术主要包括物理储能、化学储能、电化学储能和热能储能等几大类。物理储能技术如抽水蓄能和压缩空气储能，因其规模大、寿命长而被广泛应用于电网调峰。化学储能技术如钠硫电池和液流电池，它们具有较高的能量转换效率和较长的循环寿命，适合于大规模储能应用。电化学储能技术，尤其是锂离子电池，因其高能量密度和快速响应能力，在电动汽车和小型分布式储能系统中得到了广泛应用。热能储能技术则利用物质的相变或显热来储存能量，适用于太阳能热发电等场景。随着技术的不断进步和成本的降低，储能技术在新能源电力系统中的应用前景将更加广阔，对于推动能源结构转型和实现碳中和目标具有重要意义[1]。

（二）储能技术的发展现状

随着全球对可再生能源的重视程度不断提高，储能技术作为连接能源生产和消费的关键环节，其发展速度和应用范围正在迅速扩大。目前，主要的储能技术包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、超级电容器储能、电池储能等。其中，电池储能技术，尤其是锂离子电池技术，因其高能量密度、长循环寿命和快速响应能力，成为当前研究和应用的热点[2]。

作者简介：刘培良（1991.05-），男，汉族，河南省鄢陵县人，大学本科，助理工程师，工作领域：新能源生产运行、维护。

（三）储能技术的经济性分析与未来发展趋势

随着全球能源转型的加速推进，储能技术的经济性分析成为推动其广泛应用的关键因素。当前，储能技术的成本正在不断下降，尤其是锂离子电池技术，其成本在过去十年中已经下降了80%以上。这使得储能系统在新能源电力系统中的应用变得更加经济可行。经济性分析不仅关注初始投资成本，还包括运营维护成本、系统寿命、效率损失以及潜在的环境影响等因素。未来发展趋势显示，储能技术将朝着更高能量密度、更长寿命、更快充放电速率以及更低成本的方向发展。固态电池、液流电池和压缩空气储能等技术正在逐步成熟，有望在特定应用场景中替代或补充现有的锂离子电池技术。此外，随着智能电网和需求响应技术的发展，储能系统将更加智能化，能够更好地与电网互动，提高电力系统的整体效率和可靠性。

二、储能技术在新能源电力系统中应用的意义

（一）提升电网的稳定性和可靠性

电能和热能之间的转化过程是通过发电机实现，但是发电机在实际应用中也存在诸多问题。首先，发电机会产生一些不良影响，比如噪音、振动以及不稳定等问题，同时其转换效率较低，能源利用率偏低。其次，发电机使用不当也会造成一定的损失，当发电机出现故障时，如果没有及时发现并进行维修，则可能引发更加严重的后果。储能技术的应用可以有效提升电网的稳定性和可靠性，将太阳能、风能等新能源储存起来，等到需要用电时再释放出来，使电能与其他能源相结合，提高电能质量，促进电力系统发展。因此，在电力系统中合理地运用储能技术能够提升电力系统的稳定性，保证电力系统正常运行[3]。

（二）促进可再生能源的高效利用

储能技术的应用，可实现可再生能源的实时性储存，从而提高了系统利用效率。当前新能源发电中，风能、太阳能等发电形式具有不稳定性，而将其高效储存并按负荷需求进行放电，既能充分利用可再生能源的清洁环保特性，又能缓解电网运行稳定性差、能源紧缺等问题。此外，该技术还可以有效地存储和传输电能，从而在某种程度上推动新能源的有效利用，促进电力系统的可持续发展。

（三）支持分布式发电和微网系统的发展

为应对新一轮电改，国家能源局近年启动了“互联网+智慧能源”的行动计划。该计划旨在建立开放、共享、合作的能源互联网生态圈，提高能源系统整体效率，推进能源消费革命，构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。微电网作为分布式电源接入配网的重要方式之一，其灵活的运行特性能够充分发挥分布式电源和储能装置的优势，满足用户多元化用能需求，实现对负荷的精准控制，是解决新能源并网难题的有效手段之一。此外，微网与储能技术结合还可以优化区域能源结构，提升电网供电可靠性，降低能源成本，减少污染物排放。因此，在国家政策支持下，储能领域将迎来蓬勃发展的良好局面。

（四）实现电力需求侧管理与峰谷电价平衡

在传统的电力系统中，供电企业必须对用户实施有效的管理，以确保用户的用电安全，从而满足用户的正常生产、生活。而储能技术的应用，能够有效地实现电力需求侧管理，并充分发挥储能装置的调峰作用，缓解客户用电需求与电网供给间的冲突，均衡峰谷电价，进而改善供电品质，提升能源利用效率。此外，随着新能源发电规模的不断扩大，为推动其与电力市场更好地衔接，可以通过储能技术对新能源发电的波动性加以调节，保障新能源发电并网的稳定性，从而提高电能质量，提升供电可靠性，降低系统运行成本，这对于构建新型电力系统具有十分重要的意义[10]。

三、储能技术在新能源电力系统应用中的难点

（一）成本控制与经济性分析

储能技术在新能源电力系统中的应用虽然前景广阔，但其成本控制与经济性分析是目前面临的主要难点之一。首先，储能设备的初期投资成本较高，这包括电池材料、制造工艺、系统集成以及安装调试等费用。其次，储能系统的运营和维护成本也不容忽视，需要定期检查、更换部件以及升级软件等，这些都会增加长期运营成本。此外，储能技术的效率损失也是一个重要因素，电池在充放电过程中会有能量损耗，这直接影响了储能系统的经济性。

（二）技术成熟度与可靠性问题

我国的储能技术的发展起步较晚，尽管近年来发展迅猛，但仍然存在一些问题。技术成熟度、可靠性以及安全性等是目前制约储能技术广泛应用的关键因素。首先，与传统电源相比，储能系统对设备和运行维护要求更高。由于大规模可再生能源接入电网，电力系统的动态特性发生了变化，这就对储能系统提出了更高的性能要求。同时，大规模可再生能源发电和负荷不确定性带来的间歇性问题也会增加储能系统的管理难度。其次，储能系统作为电力电子装置，其控制策略、软件算法和物理器件均有一定局限性，在不同场景下难以满足精准调节需求。此外，由于储能系统需要面对多种突发情况，如极端天气、设备故障、人为操作失误等，因此对于整个储能系统的稳定性和可靠性问题要给予足够重视[4]。

（三）规模化部署与基础设施挑战

规模化的储能部署是一个大工程，其建设需要一定的周期，而且不同规模、不同应用场景下的储能技术要求也不相同。例如：对于电化学储能技术来说，单体电池容量越高，对应的能量密度也越大，带来的系统成本也会随之增加；而当储能系统规模化部署后，由于规模效应产生，整体系统效率可能会有所提高。另外，对于大电网而言，储能电站的布局需要综合考虑当地土地资源、气象条件、经济发展等因素，因此对技术和管理能力都提出了更高的要求[8]。

（四）政策法规与市场机制的制约

储能技术的发展依赖于政策法规和市场机制的保障，而这些环节在我国均存在一定的问题。例如，储能项目在建设过程中面临着“并网难”“补偿少”等诸多难题；又如，在储能参与电力市

场交易时，由于目前可供选择的商业模式较少，导致企业投资积极性不高；此外，我国目前尚缺少对储能电站运行和运行的有效调控手段，制约了其规模化应用[9]。

四、储能技术在新能源电力系统中应用的优化策略

（一）企业实施全面预算管理

新能源企业要想将储能技术的优势充分发挥出来，就必须从战略高度认识和实施全面预算管理。通过对经营目标进行分解，使其成为各部门、各岗位的工作目标，从而激发全体员工参与预算编制的热情，确保预算执行过程中不偏离既定目标。此外，企业还要加强对全面预算管理的考核力度，利用科学合理的绩效考核机制，引导全体员工积极践行预算管理理念，为实现长远发展奠定坚实基础。同时，还应建立一套完整的财务信息系统。这样才能及时掌握储能电站的运行情况，并根据实际需求制定出针对性强的解决措施，为储能电站的健康运行提供保障[7]。

（二）加大研发投入，持续改进产品技术性能

随着新能源发电的快速发展，储能系统与其相匹配的需求也将越来越大。我国能源资源分布极不均衡，各区域之间经济水平和环境承载力差异显著，导致了不同地区对新能源发电消纳的要求也不尽相同。在这种情况下，有必要通过加大研发投入，提升储能技术水平，研发适合于不同应用场景的先进储能产品，为新能源电力系统提供更加灵活、可靠、高效的技术支撑。具体来说，可针对不同区域、不同应用场景进行技术创新，开发出更具针对性的储能系统。同时，应积极拓展储能业务范围，深入挖掘储能系统在电能质量优化、分布式能源接入等方面的应用价值，并基于长期运行数据对储能系统性能进行持续跟踪分析，不断改进储能系统的技术性能，推动储能系统向智能化方向发展，进一步增强储能系统的适用性[5]。

（三）加强与地方政府和社区的合作

储能技术的应用与发展离不开政府的大力支持和推动，因此，要想保证储能技术在新能源电力系统中发挥出最大的作用，就必须加强与地方政府和社区的合作。在具体合作过程中，应当建立完善的合作机制，实现资源共享，并且不断创新合作模式，增强双方的信任程度，促使合作双方能够进一步深化合作内容，充分发挥各自的优势，从而提升整体经济效益。例如：相关部门可以出台一些政策来鼓励社会资本投资建设储能电站，以市场化的手段来解决资金不足的问题；也可以成立相应的组织机构，将电网、发电企业、用户以及储能企业联合起来，通过协商合作的方式对电网运行进行管理[6]。

（四）加强与监管机构沟通，确保运营符合法律要求

储能技术的运营应符合国家相关法律法规要求，加强对储能项目建设和运行过程中的监管力度，严格按照《电力法》《可再生能源法》等相关政策进行设计和部署。储能装置接入电网后，需要与电网公司合作，保证储能装置的安全、稳定、可靠地运行。另外，还需要加强与电力监管部门的联系，建立健全的沟通机制，对项目运作中存在的问题进行及时的反馈，并主动地接受监管部门的监管和引导，使该项目的运作更加有效，从而增强其在新能源电网中的应用效率。

五、结语

综上所述，储能技术在新能源电力系统中的应用面临诸多挑战，但同时也蕴含着巨大的发展潜力。为了推动储能技术的广泛应用，需要从技术、政策、市场等多方面入手，共同构建一个有利于储能技术发展的环境。企业应实施全面预算管理，确保储能项目的高效运营；加大研发投入，持续改进产品技术性能，以适应不同应用场景的需求；加强与地方政府和社区的合作，共同推动储能技术的规模化部署；同时，加强与监管机构的沟通，确保储能技术的运营符合法律要求。只有这样，储能技术才能在新能源电力系统中发挥出应有的作用，为实现能源转型和可持续发展贡献力量。

参考文献

[1]李鹏林. 新能源电力系统中储能系统的设计和控制策略［J］. 光源与照明，2023,(11):153-155.

[2]王哲. 储能技术在新能源电力系统中的应用［J］. 光源与照明，2024,(01):237-239.

[3]高毅. 储能技术在新能源电力系统中的应用研究［J］. 光源与照明，2024,(05):132-134.

[4]兰兵权，王强，齐宇文. 储能技术在新能源电力系统中的应用探究［J］. 电子元器件与信息技术，2024,8(04):172-174.DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2024.4.051.

[5]葛仝，彭少卫. 新能源电力系统中的储能技术研究［J］. 中国战略新兴产业，2024,(06):111-114.

[6]刘荣峰，张敏，储毅，等. 新型储能技术路线分析及展望［J］. 新能源科技，2023,4(03):44-51.

[7]翁洪康，袁向科，李汉秋，等. 储能在建筑楼宇能源系统中的多层级应用［J］. 四川建筑，2023,43(06):61-63.

[8]蒋棹骏，向月，谈竹奎，等. 计及需求响应的高比例清洁能源园区储能容量优化配置［J］. 中国电力，2023,56(12):147-155+163.

[9]张保贵，王德志. 含大规模风力发电的电力系统储能优化配置［J］. 无线互联科技，2023,20(24):96-98.

[10]黄兆浩，毕素玲，刁智伟，等. 新能源发电侧储能技术的研究与应用［J］. 电工技术，2023,(S1):240-242.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.25.084.

新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化

林全睿

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 贵阳 550081

摘　　要： 随着我国经济的快速发展，能源结构不断优化，新能源产业也得到了长足的进步。然而，在当前阶段中，其发展仍面临着诸多问题，需要引起我们的关注和重视。基于此，本文首先分析了新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化的意义，并针对实际应用中存在的问题，提出相应的优化策略，期望能通过进一步推广智能监控以及运行优化技术，可为新能源发电系统的发展奠定良好的基础。

关 键 词： 新能源发电系统；电网智能监控；电网运行优化

Intelligent Monitoring and Operation Optimization of Power Grids in New Energy Power Generation Systems

Lin Quanrui

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550081

Abstract: With the rapid development of China's economy and the continuous optimization of energy structure, the new energy industry has also made great progress. However, at the current stage, its development is still facing many problems, which need our attention and attention. Based on this, this paper first analyzes the significance of intelligent grid monitoring and operation optimization in the new energy power generation system, and puts forward the corresponding optimization strategies for the problems existing in the practical application, hoping to lay a good foundation for the development of the new energy power generation system by further promoting the intelligent monitoring and operation optimization technology.

Keywords: new energy power generation system; intelligent monitoring of power grid; grid operation optimization

引言

随着我国综合国力的不断提升，对于能源的需求也在逐步增加。然而，由于传统的能源利用方式并不能满足当前社会发展的需要，因此，迫切需要对新能源进行有效应用，从而降低能源消耗、提高能源利用率。近年来，伴随着科学技术水平的不断提升以及互联网技术的快速发展，我国新能源发电系统得到了进一步发展，其基本运行模式也逐渐由传统的电力系统转变为新能源并网系统[2]。而为确保该系统的良好运行，则必须要对其进行智能监控及运行优化，通过两者的有机结合，能够全面提高新能源发电系统的运行效率，进而为电网安全稳定运行奠定良好的基础。

一、新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化的意义

（一）提升电网稳定性与可靠性

新能源发电系统对电网的稳定运行有着至关重要的作用，如果在新能源发电系统中缺乏科学的电网监控手段和运行优化方案，那么就会导致电网的稳定性降低。在新能源发电系统中构建智能监控系统不仅能够使其运行更加高效、稳定，而且还能提升整体发电效率。电网运行过程中可能存在的各种问题都能够通过电网智能监控系统得到全面的解决，从而有效地提升电网运行的可靠性与稳定性[1]。

（二）降低运营成本与提高能效

新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化对于降低运营成本与提高能效具有重要意义。通过实时监控电网的运行状态，可以及时发现并解决潜在的故障和问题，减少因设备故障导致的停机时间，从而提高发电效率。智能监控系统能够对发电量、负载需求和储能状态进行精确预测，优化发电和储能设备的运行计划，确保在满足用户需求的同时，最大限度地减少能源浪费。此外，通过数据分析和机器学习技术，智能监控系统可以不断优化自身的运行策略，实现对电网的精细化管理，进一步降低人力和维护成本。综上

作者简介：林全睿（1979.04-），男，汉族，贵州省普定县人，大学本科学历，助理工程师，工作领域：新能源生产运行、维护和数据治理。

所述，电网智能监控与运行优化不仅提升了新能源发电系统的经济性，还为实现可持续发展目标提供了有力支持[2]。

（三）实现可再生能源的最大化利用

实现可再生能源的最大化利用是新能源发电系统中电网智能监控与运行优化的核心目标之一。通过先进的监控技术，可以实时跟踪风能、太阳能等可再生能源的发电情况，准确预测其发电量，从而优化电网的调度策略。智能监控系统能够根据可再生能源的波动性，动态调整传统能源的发电量，以保证电网的稳定运行。此外，通过数据分析和机器学习算法，可以进一步提高可再生能源发电的预测准确性，减少能源浪费，提高能源使用效率。运行优化还包括对电网负载进行智能分配，减少输电损耗，以及在需求侧实施需求响应管理，平衡供需关系。

（四）支持电网的分布式发电与微网系统发展

分布式发电系统通常由小型、分散的发电单元组成，如太阳能光伏板、风力发电机和小型水电站等，它们能够就近为用户提供电力，减少输电损耗，提高能源利用效率。微网系统则是一种小型的、自治的电网系统，它可以在主电网发生故障时独立运行，保证关键负载的供电。

电网智能监控与运行优化技术能够有效管理和协调这些分布式发电资源和微网系统，确保它们高效、稳定地运行。通过实时监控和数据分析，智能监控系统可以预测发电量和负载需求，优化发电单元的运行状态，平衡供需关系，减少能源浪费。此外，智能优化算法可以动态调整微网的运行模式，实现与主电网的无缝切换，提高系统的可靠性和灵活性。

（五）符合市场大环境需求

能源发电系统适应市场大环境需求、实现可持续发展的关键。随着全球能源结构的转型和环境保护意识的增强，新能源发电系统在电力市场中的比重日益增加。电网智能监控与运行优化不仅能够提高新能源发电的效率和可靠性，还能确保电网的稳定运行，满足市场对清洁能源的需求。通过实时监控和数据分析，智能监控系统能够预测电网负荷，优化发电资源的分配，减少能源浪费，降低运营成本。此外，智能监控系统还可以快速响应市场变化，调整发电策略，以适应电力供需的波动，从而提高新能源发电的市场竞争力。

二、新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化中的难点

（一）数据采集与处理的实时性挑战

在电力系统运行过程中，无论是发电侧还是用户侧，都会产生大量的动态数据。传统的数据处理方式通常是基于历史数据进行分析和建模，无法及时获取到当前运行状态下的相关信息，也就难以做到全局优化调度。此外，目前大数据技术虽然能够在一定程度上提高数据处理的效率，但依然面临着高计算量、长时间延时等问题，很难达到实际需求。

（二）复杂电网环境下的预测模型准确性问题

目前，针对新能源电力系统的智能调度和运行控制方法研究已成为热点问题。对大规模新能源并网进行监控是实现智能电网发展目标的重要环节。然而，由于风电、光伏等新能源具有间歇性、波动性和随机性的特点，在复杂的电网环境中，这些不确定性因素会导致预测模型精度较差。因此，如何构建更准确的预测模型，提高模型预测精度，从而实现对电网的智能监控和运行优化具有重要意义[3]。

（三）多源异构数据融合与分析的难题

新能源具有波动性和间歇性，与传统的电力系统相比，新能源对电网运行、控制技术提出了新的挑战。 为了使新能源更好地融入电力系统，必须在数据方面实现进一步的优化和升级。然而，由于各类型新能源设备产生的数据量巨大且类型复杂，导致采集到的数据存在“小样本”特征，给基于深度学习的在线学习模型带来一定困难。此外，对于大量非结构化数据，如电力大数据中的视频数据，其处理与分析也是一个难题。如何有效融合多源异构数据，是当前急需解决的难题之一[7]。

（四）电网故障实时性诊断难点

对于新能源发电系统而言，其运行中由于受到天气、地形以及气候等因素的影响，易出现电压不稳定现象，这就需要通过智能电网系统进行及时诊断和处理。然而在实际应用过程中，由于电网故障诊断技术缺乏实时性，无法对故障类型进行准确识别，进而导致电网运行质量下降，电力系统整体效益降低[4]。

（五）能源互联网下的跨系统协同难点

能源互联网是未来发展的大趋势，将能源与互联网技术融合，形成一种新业态。在这种新业态下，各系统之间需要实现高效协同，以达到优化整体效率、提高系统可靠性的目标[8]。然而，在实际电力系统的运行当中，大多数企业并未重视涉及多系统协同优化的问题。因此如何实现多个智能电网与新能源电力系统的深度耦合，进而提升整体运行性能仍是一个待解决的难题。

三、新能源发电系统中的电网智能监控与运行优化策略

（一）引入先进的机器学习算法

随着社会经济的快速发展，人们对电力的需求越来越大，但同时也带来了一些问题。例如，电力供应不足或过载等情况时有发生，导致电力设备运行缺乏稳定性。为改善新能源电力系统的稳定性，必须实时监测电网的运行状况。在此基础上，企业可以引入先进的机器学习算法，保证电力系统的安全稳定运行。机器学习是一种基于历史数据与当前数据的精确建模方法，用于对电力系统的运行状况进行预测。因此，引入机器学习算法可以使新能源发电系统更加稳定、可靠，从而更好地服务于人们的生产生活[5]。

（二）开发统一的数据接口和标准

为了实现新能源发电系统的高效运行和监控，开发统一的数据接口和标准是至关重要的。首先，统一的数据接口能够确保不同设备和系统之间的兼容性，使得数据交换和信息共享成为可能。这不仅包括新能源发电设备，如风力发电机、太阳能光伏板

等，还包括储能系统、负载管理系统以及电网的其他组成部分。其次，制定统一的数据标准能够保证数据的准确性和一致性，这对于智能监控系统来说是基础。数据标准应涵盖数据格式、数据传输协议、数据安全和隐私保护等多个方面。例如，数据格式需要标准化，以便于不同系统能够正确解读数据；数据传输协议需要确保数据在传输过程中的完整性和实时性；数据安全和隐私保护则需要遵循相关法律法规，确保用户和系统的安全。

在统一的数据接口和标准的基础上，可以进一步开发智能监控与运行优化策略。例如，通过实时监控新能源发电系统的运行状态，可以及时发现设备故障和性能下降，从而采取预防性维护措施，减少停机时间，提高发电效率[6]。

（三）构建智能故障诊断系统

电力系统的运行过程中，在各个环节都会出现各种各样的故障问题，这些故障的发生给新能源发电系统的正常运行带来了很大的影响。因此，为了确保新能源发电系统能够正常稳定地运行，就必须构建起智能故障诊断系统。利用这一系统可以及时对电网中的各类故障进行诊断和处理，从而有效地降低电网运行过程中出现故障的概率，使新能源发电系统的正常运行得到保障。智能故障诊断系统主要包括数据采集、数据处理、决策支持三个模块。首先，数据采集模块负责收集来自电网的各种数据，如电压、电流、功率等[9]。然后，数据处理模块对这些数据进行预处理，并将其转换为适合机器学习的格式。最后，决策支持模块利用机器学习算法对电网的运行状况进行分析，并给出相应的优化建议。

（四）建立统一的能源互联网平台

构建统一的能源互联网平台，可以实现对电网运行状态的监控和分析。该平台包括了各种能源的实时数据、历史数据以及相关信息，能够为用户提供全方位的服务。通过该平台，电网运营商可以更加直观地了解电网运行情况，及时发现问题并采取有效措施进行处理。同时，该平台还可以提供智能电网建设所需的技术支持，促进新能源并网的发展。因此，建立统一的能源互联网平台对于提高电网智能监控与运行优化水平具有重要意义[10]。

（五）采用多路径传输策略，确保数据传输时效

基于大数据的新能源发电系统监控平台需要具备一定的传输速度，能够满足数据采集、存储、处理和分析的需求。因此，在实际应用过程中，必须采用有效的传输路径策略，对系统进行全面的优化。而针对于电力系统而言，由于其数据量较大且较为复杂，因此必须采用多路径传输方式，以确保电力系统的安全性与可靠性。比如：利用有线网络传输技术、无线通信技术以及光纤等多种传输方式，可以保证数据传输的及时性。另外，为保障数据的安全，还可以在数据中心建立专门的存储区域，将不同的数据分类存放，并设置合理的访问权限，从而实现数据资源共享。

四、结语

综上所述，新能源发电系统的智能化监控具有十分重要的作用，这是因为它能够提升电网的运行质量和效率，促进可再生能源的高效利用。而在实际的发展中，为保证智能监控技术可以得到有效地应用，则需要根据具体情况不断进行调整和优化，从而更好地发挥出其应有的效果。另外，针对新能源系统本身所存在的问题，还应进一步完善相关的解决措施，这样才能使其得到更加良好的发展，最终实现绿色低碳经济的长远发展目标。

参考文献

[1]钱佳伟. 基于频域极大似然估计的新能源发电系统参数辨识方法研究［D］. 浙江大学，2022.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.002238.

[2]王艺潮. 基于等效 RLC 电路的新能源发电系统谐振特性分析及其阻抗适配技术［D］. 合肥工业大学，2020.DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2020.001102.

[3]张婷. 新型电力系统混合储能方案优选及优化配置模型研究［D］. 华北电力大学（北京），2022.

[4]黎达. 不确定性条件下的分布式供能系统优化配置研究［D］. 中国科学院大学（中国科学院工程热物理研究所），2020.

[5]程晶. 基于供电系统中电网监控技术研究［J］. 电子测试，2021,(09).

[6]别朝红，林超凡，李更丰，等. 能源转型下弹性电力系统的发展与展望［J］. 中国电机工程学报，2020,40(09):2735-2745.

[7]朱愉洁，吴宇，田文涛. “双碳”目标下构建新型电力系统的内蒙古电网环保专业发展路径分析［C］//中国电力技术市场协会. 2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集（下册）.内蒙古电力（集团）有限责任公司内蒙古电力科学研究院分公司，2023:11.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.051193.

[8]钟浩，吴凡，张磊，等. 电力市场多时间尺度决策的抽蓄电站容量优化配置［J］. 高电压技术，2023,49(10):4109-4119.DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.20230768.

[9]弭辙，胡健祖，郭珍妮，等. 新型电力系统体系下新能源发展态势及市场化消纳研究［J］. 山东电力技术，2023,50(10):1-8.DOI:10.20097/j.cnki.issn1007-9904.2023.10.001.

[10]王璟轩. 新能源发电与智能电网技术在电气工程中的应用研究［J］. 全体育，2020(4):265-266.

发电厂热控 PLC 系统抗干扰策略探讨

唐荣伟

中节能（肥西）环保能源有限公司，安徽 合肥 230000

摘　　要： 随着工业自动化水平的不断提高，发电厂的热控系统在保证发电效率和安全运行方面发挥着至关重要的作用。然而，热控系统中的 PLC（可编程逻辑控制器）经常面临各种干扰问题，这些干扰可能来源于电磁干扰、电源波动、接地问题等。本文旨在探讨和分析发电厂热控 PLC 系统在设计和运行过程中可能遇到的干扰问题，并提出有效的抗干扰策略。通过对比分析不同抗干扰措施的效果，本文为发电厂热控系统的稳定性和可靠性提供理论依据和技术支持。

关 键 词： 热控 PLC 系统；干扰策略；发电厂

Discussion on Anti-interference Strategies for Thermal Control PLC Systems in Power Plants

Tang Rongwei

CECEP (Feixi) Environmental Protection Energy Co., Ltd. Hefei, Anhui 230000

Abstract: With the continuous improvement of industrial automation, the thermal control system of power plants plays a crucial role in ensuring power generation efficiency and safe operation. However, the PLC (Programmable Logic Controller) in the thermal control system often faces various interference problems, which may originate from electromagnetic interference, power supply fluctuations, grounding issues, and more. This article aims to explore and analyze the interference problems that may be encountered during the design and operation of the thermal control PLC system in power plants, and propose effective anti-interference strategies. By comparing and analyzing the effects of different anti-interference measures, this article provides a theoretical basis and technical support for the stability and reliability of the thermal control system in power plants.

Keywords: thermal control PLC system; interference strategy; power plant

前言

在现代发电厂中，热控 PLC 系统作为核心控制单元，其稳定性和抗干扰能力直接关系到整个发电过程的安全与效率。由于发电厂环境复杂，干扰源多样，因此，研究和实施有效的抗干扰措施对于保障 PLC 系统的正常运行至关重要。本文首先概述热控 PLC 系统在发电厂中的应用背景和重要性，随后分析常见的干扰类型及其对系统的影响。在此基础上，本文将探讨一系列抗干扰策略，并对这些策略的实施效果进行评估。通过本文的研究，旨在为发电厂热控 PLC 系统的抗干扰设计提供参考和指导。

一、热控 PLC 系统概述

热控 PLC 系统是一种基于可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller，简称 PLC）的控制系统，其广泛应用于工业自动化领域，用于控制和管理热能设备和过程 [1]。该系统能够实现对温度、压力、流量等热工参数的精确控制，确保热能设备高效、稳定地运行。热控 PLC 系统通常包括传感器、执行器、控制单元和人机界面等部分，通过编程实现对热工过程的实时监控和调整。在设计和实施热控 PLC 系统时，需要考虑系统的可靠性、响应速度、控制精度以及用户操作的便捷性。

发电厂的热控 PLC 系统是用于监控和控制发电厂内热力设备运行的关键系统 [2]。其主要由可编程逻辑控制器（PLC）构成，负责实时数据采集、处理和执行控制命令，确保热力系统的高效、稳定和安全运行。热控 PLC 系统通常包括以下几个主要部分：

（1）数据采集单元：负责收集来自热力设备的各种参数，如温度、压力、流量等 [3]。

（2）控制逻辑处理单元：根据预设的控制策略和实时数据，进行逻辑判断和计算，生成控制指令 [4]。

（3）执行机构控制单元：接收控制指令，驱动相应的执行机构，如阀门、泵等，以调整设备运行状态。

作者简介：唐荣伟（1983-），男，汉族，安徽蚌埠人，本科，工程师，自动化。

（4）人机界面（HMI）：提供操作员与PLC系统交互的界面，用于显示实时数据、操作指令和系统状态。

（5）通讯网络：连接各个单元，确保数据和控制命令的准确传输。

热控PLC系统的设计和实施需要考虑发电厂的特定需求，包括系统的可靠性、响应速度、扩展性和维护便捷性[5]。通过精确的控制和实时监控，热控PLC系统有助于提高发电效率，降低能耗，确保发电过程的安全性。

二、热控PLC系统干扰来源分析

发电厂热控PLC系统在运行过程中，需要将各元件的运行指令以及各元件的运行状况转换为微弱的电流、电压等信号，从而实现对电力设备的实时监控。在此过程中，由于外界因素的影响，热控系统不能对各种命令做出准确的反应，而且还会被不相关的信号所限制[6]。触发一个会给电厂继续运行带来诸多负面影响的虚假信息回馈。

（一）电源干扰的相互影响

由于发电厂一般主要依靠煤炭、天然气和垃圾等作为主要的燃料，因此在实现热发电的同时，其控制柜也就成为整个系统的核心[6]。该系统中涉及到大量的信号源，其内部与能量流动密切相关，具有高度的复杂度。如果系统内部发生失效或者对信息处理不好，就会发生相互干扰。

控制柜的可靠性影响热控PLC系统能否顺利运转。由于机柜中的多个信号源间的互相干扰或接口或线路故障所产生的各种扰动，不仅会对设备的正常运行产生不利的影响，而且会导致线路短路、过热起火等事故[7]。此外，由于设备的老化及运行要求，其内部的电气元器件也容易受到损坏，因此必须进行周期性的替换。如未进行维修或使用不当，则会造成电器零件的损伤。当信号的强度遭到不利的干扰时，将使整个通信系统的信号稳定失效，如果时间过长还会造成接线端烧坏，从而使热控系统无法继续工作。

（二）信号干扰

电力线控制是电力线控系统中一项十分常见而又十分关键的工作。当在主控室内使用信号线路时，由于外界因素的干扰或限制，使得主控台所收到的讯号与现场传送的讯号不符[8]。不同的控制系统对元件的要求也不尽相同，只有如此，才能正确地进行数据的解析，若选用的电子元件出现故障，则会因触点间的电势差而对共模信号产生干扰。此外，周边的磁场也会对信号线产生很大的影响，若信号线与其它线缆发生交叠，则会引起电磁干扰，从而导致信号的传递工作受到干扰。

（三）电磁干扰

由于热控装置工作于各种不同类型的电磁干扰，严重地影响电力线载波通信的运行。在发电厂中当许多设备在工作时，其周围的雷达、无线网络和对讲机等设备的信号都会在一定程度上干扰到PLC控制系统的信息传递，进而给电厂安全生产造成不利的影响[9]。要确保电网运行安全性，就必须综合考虑各种可能的电磁和干扰，以消除其对电网的危害。

（四）接地干扰

在发电厂中的热控PLC系统运行期间，如果系统的接地不良，将会影响到信号的传输。由于各接地点之间的电位相差较大，因此，在传输过程中，会产生一种“电流环”，对信号的传输通道产生干扰。因为信号线与其他用来传送电流的电缆是有区别的，所以在制作时必须设定讯号屏蔽层，屏蔽层在机柜一侧单边接地，以确保讯号屏蔽层无法传导电流[10]。在工程应用中，屏蔽层与接地之间存在着一定的电势差以及屏蔽层与地面之间的电流，极易引起屏蔽层的电磁干扰，进而降低屏蔽层的工作效率。

三、发电厂热控PLC系统抗干扰策略

热控系统在确保发电厂顺畅运作中发挥着至关重要的作用，其为发电站额外供电提供高效保障。伴随着我国经济体制改革的深入推进，提升发电厂的热控能力，实现其全面进步，已成为一个迫切需要解决的课题[11]。要保持电站的高效率运转，就需要先进的技术支撑。在对电厂进行智能电网的升级改造时，一定要将先进的经营思想和电厂的实际情况有机地联系起来，建立起一种有效的运行控制体系。电厂能否顺利运行，不仅关系到电厂的安全运行，而且关系到以后的工程质量。在电站运行过程中，受诸多非受控因素的作用，热控保护与运行问题频发，引发一系列的故障。所以，若不能对其进行适当的调节，就会影响到机组的工作精度，从而严重地威胁到机组的安全性。在实施过程中，应将科技研究结果与电厂实际操作方式有机结合，采取科学、高效的调控方法。

（一）定期做好对控制机柜的检测

当设备的安装和监测工作结束后需实施定期检查，保证机组的安全和稳定运行，并消除可能存在的干扰十分重要。经常是由于不正确的安装和维护作业而引起这个问题的主要原因。所以，为有效地防止这种相互影响，在布线之前应该先彻底地对电路中的电势差进行详细的分析，以便能够消除当前电路中存在的问题。维修期间，还要仔细地检测、评价各控制箱内部的插头及终端，尽量消除因装置引起的信号干扰。另外，对该部分的接地电阻也要进行测试，以保证其符合工程施工的要求。

在实际工作中，为保证机箱的稳定性，必须在停止工作的过程中对其进行适当的调节或者替换，并进行常规的检测，以保证机箱的稳定性；这一点至关重要[13]。在测试过程中，应实时监测接地电阻值。测试阶段可划分为两个主要步骤：

第一步，在控制柜停止工作后，首先拆除热控系统的屏蔽层，此时需留意屏蔽电缆与地面的连接情况；测量时，应运用多种方法测定电缆与地面间的电阻值[14]。若测试中发现电阻值不达标，应立即进行修复并更换相应部件。

第二步，电缆更换完成后，另外还要测试新线缆的另外一头的阻值，一般不大于4Ω。

（二）科学选取电缆与施工方法

电力线载波通信温度控制系统的运行，其关键是控制信号的

传递。光缆的类型、光缆结构是否规范，对光缆的传输精度和传输的品质有很大影响。如果信号质量不好，就会引起各种干扰，从而使整个通信网络无法正常工作。所以，选用合适的光缆，采取适当的构造措施，是减小对光缆的电磁干扰的根本保证。在实际应用中，要考虑到对信号的特殊需求，选用合适的光缆。温度控制装置输出的信号有模拟信号、通信信号及各种开关量信号。

针对各种类型的信号，选用合适的线缆，以适应配合要求。在选择了适当的光缆之后，建造工艺非常关键，可采取一系列的技术措施，使线路之间的相互影响最小化。尤其当连接电脑讯号时，需将讯号线放置于有罩之缆线沟中，而个别讯号线则需套上钢管，以加强其接地效能[16]。在实际应用中，为了实现对信号的有效防护，往往需要在其外部增加一层屏蔽层。

（三）增强热控系统的抗干扰能力

在电站日常运行过程中，各类依赖电机驱动的高功率设备，如汽轮机、送风机、介质泵等，在运行过程中，很容易被外界的磁场所影响，而电动机的各部分又很难不引起震动[17]。热控 PLC 系统的外界扰动很难彻底消除，需要有针对性地增强其抗干扰能力，才能提高热控 PLC 系统的稳定性。首先，在高辐射、高 EMI 地区设置 PLC 系统时，为减少对 PLC 系统的影响，必须在其控制装置及线缆上加一层防护装置[18]。

其次，为减少共模、差模等扰动对 PLC 系统工作环境造成的不利影响，在屏蔽结构的设计中也要考虑到接地问题。如一个分散的控制器通过一个遥控设备与一个电脑系统相连，其具有监视和遥控的能力，并可以接受一个遥控的信号[19]。热控 PLC 系统在遇到外界扰动时，极易出现故障。采用分散式监控系统，可以在计算机与监控系统的配合下，对整个系统进行全天候、全方位的监控[20]。实现分级管理、分散控制、集中作业、灵活方便配置以及中央化等操作目的。

（四）正确进行接地操作

发电厂热控 PLC 系统中，信号传输是非常重要的一环，如果遇到电流扰动，有可能发生故障，会对电能的输送产生负面的影响[15]。严格的接地作业是保证设备顺畅运作的关键，能够很好地防止电网中出现不正常的情况。根据电网和各种电器的特点，采用导线将暴露在外的部件与地板相连，起到防护作用。从电厂的实际情况来看，由于电厂的信号线与线缆常常是相互交织的。因此，PLC 机柜应连接到接地母排，接地母排再连接到接地极。信号电缆的屏蔽层应在 PLC 一端接地，最好采用单独的接地系统，与强电设备接地分开，以减少干扰。

通过对热控制系统的维修与改造，能够有效地提高其抗扰动性能，减小外界因素的冲击。所以，在 PLC 系统运行中，要采取适当的接地方法，以保证工作环境及设备的安全性。

四、结语

综上所述，在确定热控 PLC 系统易受各种因素影响之后，发电厂应该积极地加大对扰动的防范力度。通过具体实施维修计划，保证系统的内部问题可以在最短的时间内得到妥善的解决，同时也要对接地模式进行调整，从而更好地保证热控 PLC 系统的运行效率。并需以准确的干扰源分析为基础，根据定期检修的手段防范与控制干扰源，保障发电厂稳定运行。

参考文献

[1] 高桃红. 发电厂中的热控 PLC 系统抗干扰策略分析 [J]. 集成电路应用，2023,40(9):284-285.

[2] 高世茹. 发电厂热控设备 PLC 控制系统的干扰问题分析 [J]. 百科论坛电子杂志，2020,000(007):1372-1373.

[3] 庞国斌. 陆用燃油 (气) 电站热控系统技术方案 [J]. 电工技术，2020(18):3.

[4] 刘永强. 发电厂热控 PLC 系统的干扰问题与对策分析 [J]. 集成电路应用，2023(11):332-334.

[5] 张铁强. DCS 热控保护系统可靠性评估 [J]. 轻松学电脑，2021,000(002):P.1-2.

[6] 司诚，郑波. 以节能创效为导向的热控班组技术创新实践 [J]. 企业管理，2022(S2):32-33.

[7] 张铁强. DCS 热控保护系统可靠性评估 [J]. 电子乐园，2021(2):0036-0037.

[8] 石林，李德，冯跃. 基于 PLC 控制器在火电站除灰控制系统中的应用 [J]. 电站系统工程，2021(037-002).

[9] 冯冬雷. PLC 在光伏电站控制系统的应用研究 [J]. 科学技术创新，2023(24):72-75.

[10] 王勃，王月爱. 发电厂可靠性电源研究及在 PLC 控制系统中的应用 [J]. 2022(8).

[11] 刘文俊. 电厂除灰渣及除尘 PLC 控制系统的优化分析 [J]. 智能城市，2021,7(22):2.

[12] 宋湘辉，周霖轩. 基于 HMI 及 PLC 的抽水蓄能电站自动化值守联动系统设计 [J]. 自动化技术与应用，2023,42(1):46-50.

[13] 姚璋，葛贞笛，赵文悦，等. 核电厂仪控系统 PLC 的脆弱性分析 [J]. 自动化仪表，2023,44(S01):272-276.

[14] 胡兵，海玲，程丽娟，等. 小型风力发电机偏航控制系统实验研究 [J]. 微电机，2020,53(6):4.

[15] 任加维. 基于物联网技术的双轴联动跟踪式光伏发电系统 [J]. 自动化与仪器仪表，2022(6):7.

[16] 夏海洵. S7-200PLC 控制器在船舶电站管理系统的应用 [J]. 舰船科学技术，2023,45(4):109-112.

[17] 黄达. 垃圾焚烧发电厂自动控制系统的设计与实现 [J]. 自动化仪表，2020,41(9):5.

[18] 徐枪声，和海涛，郭霖涛，等. 基于最优桨距计算的风力发电机组控制系统设计 [J]. 机械设计与制造工程，2022,51(12):62-66.

[19] 徐春霞，葛跃田，国洪林. 基于 PLC 三级传送带控制系统的设计与应用 [J]. 工业仪表与自动化装置，2020(2):5.DOI: CNKI: SUN: GYZD.0.2020-02-024.

[20] 谭智. 基于 PLC 的燃煤电厂输灰系统控制技术——评《燃煤电厂输灰系统及控制技术》[J]. 矿业研究与开发，2020,40(8):1.

智能电网中分布式能源的接入及优化控制策略研究

李文涛

辽河油田公司新能源事业部（电力分公司），辽宁 盘锦 124000

摘　　要： 智能电网作为新一代电力系统，因其高效、灵活和可持续的特性逐渐成为电力行业发展的重要方向。分布式能源作为智能电网中的重要组成部分，具有灵活性和多样性，但其接入电网过程中面临诸多技术挑战。本文深入探讨了分布式能源接入电网的技术挑战及其对电网的影响，在此基础上提出了基于能量管理系统（EMS）的优化调度与控制策略。通过优化控制策略的应用，以期提高分布式能源的利用效率，增强电网稳定性与安全性。

关 键 词： 智能电网；分布式能源；优化控制

Research on the Access and Optimization Control Strategy of Distributed Energy in Smart Grid

Li Wentao

New Energy Division (Power Branch) of Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning 124000

Abstract: As a new generation of power system, smart grid has gradually become an important direction of the development of the power industry because of its efficient, flexible and sustainable characteristics. As an important part of the smart power grid, distributed energy has flexibility and diversity, but it faces many technical challenges in the process of connecting it to the power grid. This paper discusses the technical challenges of distributed energy access to the grid and its impact on the grid, and puts forward the optimal dispatching and control strategy based on energy management system (EMS). Through the application of optimized control strategy, it is expected to improve the utilization efficiency of distributed energy and enhance the stability and security of the power grid.

Keywords: smart grid; distributed energy; optimized control

引言

智能电网是融合了现代信息技术、自动化控制技术以及先进电力传输技术的新一代电力系统，其核心目的是提高电力系统的灵活性、可靠性和可持续性。智能电网的体系结构与传统电网有显著不同，主要由发电、输电、配电、用电和调度五大部分组成，并通过高度智能化的通信和控制网络将各部分有机结合。分布式能源指的是利用小型或中型发电设备就地发电并直接向负荷点供电的能源形式，与传统集中式发电相比，分布式能源具有灵活、高效、绿色等特点。常见的分布式能源类型包括太阳能、风能、地热能、微型水电以及储能技术等。分布式能源的显著特点之一是其分布广泛，可灵活部署在负荷中心附近，从而减少电力传输损耗。分布式能源具有良好的环保性能，利用可再生能源如太阳能和风能发电能够有效减少温室气体排放，有利于应对全球气候变化的挑战。

一、分布式能源的接入问题分析

（一）接入智能电网的技术挑战

分布式能源的接入给智能电网带来了多方面的技术挑战。分布式能源的间歇性和不确定性是主要的技术障碍。太阳能和风能等可再生能源的发电量受到天气、时间等自然条件的影响，难以保证稳定的电力输出，这增加了电网的调度难度。分布式能源发电的功率波动性也可能影响电网的电压和频率稳定性，造成电网的运行安全隐患；分布式能源接入后的电力流动变得更加复杂，传统电网主要是单向输电，而在分布式能源接入后，电力流动呈现出双向特性，即从发电端到用户侧和用户侧反向送电，这使得电力调度和管理更加困难。为了应对这种变化，电网需要对现有的配电网络进行升级改造，增加自动化和智能化设备，如智能变电站、动态监测系统等，以实现实时监控和调度。[1]另外，分布式能源接入智能电网还需要高效的能量管理系统（EMS），来实现对多种能源形式的协调控制和优化利用。由于分布式能源的种类多样，如何实现不同能源之间的互补性，并保证在能源需求波动时能够进行快速响应，是一大技术挑战。信息安全问题也是重要的考虑因素。智能电网中大量的数据通信和控制信号需要通过开放的网络传输，这使得网络安全威胁增大，必须采取措施确保电

作者简介：李文涛（1988.04-）男，汉族，山东青州人，本科，工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

网的安全性与稳定性。

（二）分布式能源接入对电网的影响

在传统电力系统中，电力流动是单向的，从大型发电站通过输配电网络输送到终端用户。然而，分布式能源的接入打破了这一单向流动模式，形成了分散式、多点并网的格局，使得电力流动呈现出双向特性。双向电力流动的出现增加了电网的调度和控制难度，要求电网具备更高的灵活性和适应性。分布式能源接入对电网的电压稳定性和频率调节提出了新的挑战。由于分布式能源如太阳能和风能的发电量受天气和自然条件影响较大，其波动性直接影响到电网的电压水平和频率稳定性。如果未能进行有效的调节和控制，电压和频率的不稳定可能导致电网故障，甚至引发大规模停电事故。为应对这种影响，智能电网需要配备先进的自动化调节设备和实时监控系统，以便在电网出现波动时快速调整。分布式能源的广泛接入还对现有的电力基础设施提出了新的要求。分布式能源通常在用户侧接入，这意味着配电网络必须能够承受更高的负荷，特别是在电力需求高峰期。如果现有的配电网络无法满足这些要求，可能会导致电力传输瓶颈，影响供电的可靠性。[2]

二、分布式能源接入的优化控制策略

（一）能量管理系统（EMS）的设计

1. 分布式能源的调度与管理

在智能电网中，分布式能源的调度与管理是能量管理系统（EMS）设计的核心任务之一。为了保证分布式能源的高效利用和电网的稳定运行，EMS采用了多层次的调度策略。首先，EMS通过传感器、智能计量设备和气象预报系统，实时采集风能、太阳能等分布式能源的发电数据。这些数据包括光伏系统的辐射水平、风电场的风速、风向等，以及电网当前负荷情况和用户的用电需求。基于这些实时数据，EMS通过预测模型对未来的能源生产进行短期、中期和长期的预测。短期预测（如1小时至24小时内）主要依赖于天气预报和历史发电数据，系统通过机器学习算法进行不断优化，确保预测精度达到90%以上。长期预测则依赖于季节性数据和历史趋势。在调度过程中，EMS采用动态调度策略，在用电负荷高峰时段优先使用低成本的分布式能源，如风能和太阳能。[3]具体操作上，EMS在风速大于12 m/s时将优先调度风电场发电，而在阴天时，系统会自动调低光伏发电的输出，转而增加储能系统或从传统电网引入电力。当风速低于风电发电的最低门槛时（如3 m/s），EMS会将负荷转移到其他能源或储能系统上。[4]

表1 分布式能源的调度与管理标准值

指标 / 参数	标准值	说明
实时数据更新频率	1–30秒	能源系统实时监测和反馈的时间间隔
预测准确度	90–95%	分布式能源生产预测的准确性
能源调度响应时间	500毫秒 – 1秒	从负荷变化到能源调度系统响应所需时间
风电调度的风速门槛	12 m/s	EMS在风速大于该值时优先调度风电发电
光伏发电的辐射强度门槛	500 W/m^2	EMS在辐射强度大于该值时优先调度光伏发电
供需平衡效率	95–98%	通过能源调度实现的供电和需求匹配效率

2. 能量储存与负荷预测

能量储存系统是EMS设计中的关键环节之一，特别是针对分布式能源的波动性，储能设备能够在发电量过剩时储存多余能量，在用电需求高峰期或发电不足时释放能量，平衡电网负荷。EMS系统实时监测电池组、抽水蓄能等储能设备的电量并根据预测的发电情况和电网负荷需求，灵活调度储能系统的充放电。具体策略上，EMS会根据短期负荷预测（通常1小时至24小时）安排储能系统的充放电。通过对天气预报和历史数据的分析，EMS可以预测出未来某段时间内的用电高峰。例如，某电网中每天晚间6点至9点为用电高峰期，而当天白天的光伏发电量预计可达500MWh。根据这些数据，EMS会在光照充足时优先将光伏电能储存至电池中，并在晚高峰时释放储能，以满足电力需求。EMS的负荷预测基于大数据分析和机器学习算法，利用历史用电数据和气象条件建立预测模型，精度可达到95%以上。[5]

表2 能量储存与负荷预测 – 相关指标和参数

指标 / 参数	标准值	说明
储能系统容量	10–50 MW	储能系统的典型容量范围
储能系统充电效率	85–95%	储能设备将电能转化并储存的效率
储能系统放电效率	90–95%	储能系统将电力释放至电网的转换效率
负荷预测精度	90–95%	基于历史数据和机器学习的用电负荷预测准确性
负荷预测时间范围	1小时 –24小时	短期负荷预测的时间周期
负荷响应时间	1–5秒	EMS系统在负荷变化时的响应时间
储能系统循环寿命	3000–5000次	储能设备在完整充放电循环中的可用寿命

（二）分布式能源接入的实时控制

1. 即时优化与自动化控制技术

即时优化的核心在于实时监测和计算能源供需的动态变化，结合分布式能源的波动特性，通过优化算法进行快速调整。智能电网中的EMS（能量管理系统）通过传感器网络和云计算平台，能够在毫秒级别采集光伏、风能等分布式能源的实时发电数据，同时结合电网负荷需求进行即时优化。自动化控制技术通过先进的控制算法和自适应技术，使得系统能够在接收到数据的瞬间做出响应。[6]例如，EMS通过传感器采集的数据可即时反馈给自动化控制系统，当风速变化时，系统会立刻调整风电机组的工作状态。当风速超过15 m/s时，系统会启动保护机制，减少风电输出，以保护设备。而当太阳辐射强度下降时，系统会减少光伏发电，自动调度储能系统补充电力缺口。[7]

2. 动态负荷调整与响应

由于分布式能源的波动性较大，特别是太阳能和风能的间歇性发电特性，电网的负荷需求和分布式能源供电能力并不总是匹配。动态负荷调整通过负荷预测、用户需求响应机制，以及智能设备的自动化调节，能够在短时间内实现电力供需的快速匹配。具体策略包括负荷的灵活调度与快速响应。EMS系统能够实时监控各个用户的负荷情况，并根据预测模型对未来用电情况进行提前规划。例如，当预测到电网负荷在晚间达到高峰时，EMS会通过预先降低某些可中断负荷（如电动汽车充电、工业用电等），来避免电网的过载现象。根据实际数据，某些电动汽车的充电负荷在电网负荷高峰时可降低15-20%，有效减轻了电网的压力。需求响应机制通过与用户的互动，提供动态电价策略，鼓励用户在电力需求高峰时减少用电，并在电力供应充足时增加用电。动态负荷调整的响应时间通常在几秒至几十秒之间，这种快速的响应使得电网能够有效应对分布式能源供电不足或过剩的问题，确保电网的稳定性和分布式能源的高效利用。[8]

（三）分布式能源的协调控制策略

1. 多能源协调优化

多能源协调优化是分布式能源接入智能电网过程中最重要的控制策略之一，它的核心目标是通过协调各种分布式能源（如太阳能、风能、储能系统等）的输出，使其能够互相补充，从而最大化能源利用率，确保电网的稳定运行。由于各类分布式能源的特性不同，如太阳能依赖光照，风能依赖风速，而储能系统可以平衡发电和用电波动，因此在调度上需要进行多能源协调优化。EMS通过实时采集光伏电站、风电场、储能系统等设备的发电数据，并结合气象预测，建立各类能源的发电模型和需求模型。利用优化算法，系统可以根据当天的气象条件和负荷需求对各能源进行合理调度。例如，当光照强度降低时，EMS会自动减少光伏发电量，同时增加风电场或储能系统的发电或放电。针对能源价格波动较大的市场环境，EMS还可以根据电价预测对多能源系统进行经济调度。[9]例如，当电价低时，系统会优先从电网购电，并减少分布式能源发电的输出，而当电价升高时，分布式能源则作为优先电源供应给电网。

2. 智能电网中微网的作用

微网作为智能电网的重要组成部分，是一种将分布式能源、储能系统和负荷紧密结合的局部电网系统，具有独立运行和与主网并网运行的双重能力。微网的核心作用在于通过整合本地的分布式能源系统，提升电力供应的可靠性和灵活性，尤其在应对电网故障、自然灾害或主电网失效时，微网能够提供持续、稳定的电力供应。智能电网中的微网通常配备了多种分布式能源，如光伏、风电和储能系统，并通过EMS系统进行统一协调和管理。[10]当主电网正常运行时，微网与主电网并网运行，优化能源供应；在主电网出现故障或外部电网供电不足时，微网可以切换至独立运行模式，通过本地的分布式能源和储能系统为用户供电。微网在优化能源使用、提高能源安全性方面具有显著优势。这样的配置不仅增强了该区域对主网的依赖性，还大幅提升了供电的稳定性和灵活性。微网还能够通过需求响应机制灵活调整负荷，最大化利用本地分布式能源。

三、结论

智能电网与分布式能源的结合为未来能源系统的高效、可持续发展提供了新的方向。本文通过分析分布式能源接入智能电网所面临的技术挑战，提出了优化控制策略，特别是在能量管理系统（EMS）、实时控制和多能源协调方面的深入研究。通过有效的调度与管理、负荷预测及储能系统的优化，分布式能源接入智能电网将显著提升能源利用效率与系统稳定性。

参考文献

[1]黄政宇. 智能电网中的配电自动化技术应用［J］. 电子技术，2023,52(08):170-171.

[2]吴问足，赵玉柱，刘国伟，等. 考虑电网辅助服务的分布式能源聚合体优化方法［J］. 电力科学与技术学报，2023,38(04):205-213.

[3]赵鹏飞. 智能电网中分布式能量交易优化的研究［D］. 北京邮电大学，2024.

[4]郭永坤，郭波，赵太强. 关于智能电网配电技术及其设备的研究［J］. 通信电源技术，2021,38(01):232-234.

[5]汪磊，李敬兆，秦晓伟. 基于区块链的智能电网分布式资源管理研究［J］. 电测与仪表，2023,60(10):73-78.

[6]赖金龙. 分布式能源在配电系统中的接入与运行策略［J］. 农村电工，2023,31(07):30-31.

[7]李华珍. 考虑分布式能源消纳的居民智能用电调度优化研究［D］. 长安大学，2022.

[8]吴侨思. 110 kV高州协鑫燃气分布式能源项目接入系统工程施工安全管理研究［J］. 自动化应用，2023,64(08):237-238+241.

[9]卫泽喆，武家辉，张华，等. 基于图形相似度的分布式能源接入配电网差动保护方案［J］. 科学技术与工程，2023,23(06):2461-2468.

[10]王义，杨志伟，吴坡，等. 计及高比例分布式光伏能源接入的配电网状态估计［J］. 综合智慧能源，2022,44(10):12-18.

基于人体感知的电梯外呼自动取消系统：设计与实现

李保[1]，王靖绚[2]
1.安徽品涵电气科技有限公司，安徽 合肥 230041
2.合肥市规划设计研究院，安徽 合肥 230041

摘　　要： 电梯系统作为现代建筑中不可或缺的垂直交通工具，其运行效率和能耗问题一直备受关注。无效停层，即电梯在接到外呼请求后乘梯人离开导致的无效停层，不仅浪费了大量的能量，还显著降低了电梯的运行效率。为了解决这一问题，本文提出了一种基于人体感知传感器的外呼自动取消技术。该技术旨在当乘梯人离开呼叫楼层后，自动取消对应的外呼请求，从而提高电梯运行效率、减少不必要的停层和能耗。通过文献检索了解当前电梯系统和外呼管理的现状与挑战，明确本研究的技术路线。设计了一个基于人体感知传感器的系统架构，详细介绍传感器的选择与布置、信号采集与处理、外呼自动取消逻辑算法等。

关 键 词： 电梯外呼；自动取消；人体感知传感器；运行效率；能耗减少

Elevator External Call Auto-Cancellation System Based on Human Perception: Design and Implementation

Li Bao[1], Wang Jingxuan[2]
1.Anhui Pinhan Electric Technology Co., Ltd. Hefei, Anhui 230041
2.Hefei Planning and Design Research Institute, Hefei, Anhui 230041

Abstract: As an indispensable vertical means of transportation in modern buildings, the operation efficiency and energy consumption of elevator system have been closely concerned. Invalid stop layer, that is, the invalid stop layer caused by the elevator elevator leaving after receiving the external call request, not only wastes a lot of energy, but also significantly reduces the operation efficiency of the elevator. To solve this problem, this paper proposes an automatic cancellation technique based on human sensing sensor. The technology aims to automatically cancel the corresponding outbound call request when the elevator passenger leaves the call floor, so as to improve the operation efficiency of the elevator and reduce unnecessary stop floor and energy consumption. Through literature search, understand the current situation and challenges of elevator system and outbound management, and clarify the technical route of this research. A system architecture based on human sensing sensor is designed to detail the selection and arrangement, signal acquisition and processing and automatic cancellation logic algorithm.

Keywords: elevator outside call; automatic cancellation; human body perception sensor; operation efficiency; energy consumption reduction

引言

（一）研究背景与意义

无效停层是一个普遍且棘手的问题。无效停层指的是乘客在某层呼梯后因各种原因离开或乘坐了其他电梯或有人恶作剧，导致电梯在运行过程中停在相应楼层。这种情况不仅浪费了电梯的运行时间，增加了其他乘客的等待时间，还导致了额外的能耗，进而对电梯系统的整体效率产生负面影响。为了解决这一问题，引入外呼自动取消技术显得尤为必要。

（二）研究目的与方法

本研究的主要目标是设计和实现一种基于人体感知传感器的电梯外呼自动取消系统，以提高电梯运行效率、减少无效停层和节约能耗。为实现这一目标，本文采用了多种研究方法，包括：

文献检索：通过查阅和分析国内外相关研究成果，了解电梯系统的现状、存在的问题及改进方向，为本研究提供理论基础。

系统设计：基于文献检索的理论支持，设计一个集成人体感知传感器的电梯外呼自动取消系统，包括传感器选择、布置方案、信号处理和控制逻辑等。

一、文献检索

电梯系统作为现代高层建筑的重要组成部分，主要由驱动装置、控制系统、轿厢、井道及安全装置等部分构成。其基本工作原理是通过电动机驱动曳引轮，使钢丝绳带动轿厢和对重上下运动，从而实现乘客或货物的垂直运输。

作者简介：李保（1958.01-），男，安徽阜阳人，汉族，本科，高级工程师，研究方向：电气工程自动化。

当前电梯系统的管理和调度方式主要依赖于预设的控制算法。然而，这些传统调度方式在实际应用中存在不少问题，特别是在处理高峰期的外呼请求时，容易导致频繁的无效停层。这不仅浪费了电梯的运行时间和电能，还增加了其他乘客的等待时间，降低了系统的整体效率。[1]

二、技术实现与系统设计

（一）系统架构设计

外呼自动取消系统的总体设计方案

系统硬件设计：在电梯外呼按钮附近安装人体感知传感器，实时检测人员状态。[2]

系统硬件组成

传感器：选择适合电梯环境的传感器类型，如红外传感器、超声波传感器或毫米波雷达。这些传感器安装在每个外呼按钮附近，实时监测人员的存在情况。红外传感器通过检测人体散发的红外辐射来识别人是否在外呼楼层，超声波传感器则通过发射和接收声波信号来探测物体的移动，毫米波雷达利用电磁波进行高精度探测。[3-4]

信号处理模块：传感器采集的信号通过信号处理模块进行初步处理和过滤，过滤掉环境噪声和干扰，提取有效的人员检测信息。信号处理模块通常包括模数转换器、滤波器和放大器等元件。

控制单元：控制单元是系统的核心，负责接收处理后的传感器信号，并根据预设的控制逻辑决定是否取消外呼请求。控制单元通常由微处理器或单片机组成，内置控制算法和逻辑判断程序。[5][6]

系统软件设计

系统软件设计包括信号采集、数据处理和控制逻辑三个主要部分：

信号采集：传感器实时采集外呼楼层的人员存在情况，并将模拟信号传输到信号处理模块。信号处理模块对信号进行模数转换、滤波和放大，确保信号的准确性和可靠性。

数据处理：信号处理模块将处理后的数字信号传输到控制单元，控制单元对数据进行进一步分析和处理。数据处理包括噪声过滤、信号增强和特征提取等步骤，以确保系统能够准确识别人员的存在情况。

控制逻辑：控制单元根据处理后的数据判断是否取消外呼请求。控制逻辑包括以下几个步骤：

状态检测：实时监测外呼楼层的人员状态，如果检测到人员离开，则进入外呼取消逻辑。

时间窗口判断：设定一个时间窗口，在该时间窗口内如果没有检测到人员返回，则取消外呼请求。

取消外呼请求：在时间窗口内没有检测到人员返回时，控制单元发送外呼取消指令给电梯控制系统，取消相应的外呼请求。

（二）传感器选择与布置

人体感知传感器的选择标准

在设计电梯外呼自动取消系统时，传感器的选择至关重要。适宜的人体感知传感器应具备以下几个关键标准：

灵敏度：传感器的灵敏度决定了其检测人类存在的准确性。高灵敏度传感器能够识别微小的动作和变化，确保即使在低活动环境下也能准确检测到人员的存在。

响应时间：快速响应是必需的，特别是在高峰期间，电梯的运行频率较高。理想的响应时间应在毫秒级别，确保传感器能够实时监控并做出反应，避免延迟导致的误操作。

检测范围：传感器应能够覆盖外呼按钮附近的区域，通常包括前方几米的范围，以及左右两侧一定角度的覆盖。检测范围过小会导致漏检，过大会增加误检的概率。

抗干扰能力：传感器应具备良好的抗干扰能力，以避免环境光线变化、电磁干扰等因素影响其正常工作。[7-8]

传感器安装位置的设计

合理的传感器安装位置是保证外呼自动取消系统有效性的关键。以下是常见的安装位置设计：

外招面板：在每个楼层的外呼按钮附近安装传感器，这是最直接和有效的方案。传感器能够实时检测到候梯人员是否离开，从而快速做出取消外呼请求的决策。

厅顶：在电梯厅顶部安装传感器，可以涵盖更广的检测范围，并且避免了乘客的误碰和损坏风险。此位置适合安装具有较大检测范围的超声波传感器或毫米波雷达。

墙壁或天花板：在电梯门侧的墙壁或天花板上安装传感器，可以从不同角度监控人员的活动情况，增加检测准确性。

传感器布置方案的优化

为了实现最佳的覆盖效果和减少盲区，传感器布置方案需要经过精心设计和优化。以下是一些优化策略：

多传感器组合：采用多个传感器组合布置，以覆盖不同的方向和高度。

重叠覆盖：在关键区域采用重叠覆盖的方式，确保没有检测盲区。重叠覆盖可以通过调整传感器的安装角度和位置实现，使得每个传感器的检测范围有所重叠，增加检测的可靠性。

动态调整：根据实际使用情况，对传感器的灵敏度和检测范围进行动态调整。

环境适应性测试：在安装前进行环境适应性测试，评估传感器在不同光线、温度和湿度条件下的性能，并根据测试结果进行相应的调整和优化。[9-10]

（三）信号处理与算法设计

传感器信号的采集方法和接口设计

传感器信号的采集是外呼自动取消系统的第一步，决定了后续数据处理和决策的基础。不同类型的传感器，如红外传感器、超声波传感器和毫米波雷达，其信号采集方式各有差异。以下是一般的采集流程和接口设计：

传感器信号采集方法：

红外传感器：检测人体发出的红外辐射，输出模拟电压信号。采集电路通过模数转换器（ADC）将模拟信号转换为数字信号。

超声波传感器：发射超声波并接收反射波，通过测量时间差来计算距离，输出的是脉冲信号或模拟电压信号。通过 ADC 接口转换为数字信号。

毫米波雷达：发射毫米波信号并接收回波，通过频移和时间差计算距离和速度，输出数字信号或模拟信号。

接口设计：

传感器通过专用接口（如 I2C、SPI 或 UART）与信号处理模

块连接。

模拟传感器需配置模数转换器（ADC），而数字传感器可直接通过数字接口连接。

传感器接口设计需考虑信号完整性、抗干扰性和实时性。

信号滤波和去噪处理

采集到的传感器信号通常包含噪声和干扰，需要进行滤波和去噪处理，以确保信号的准确性和可靠性。以下是常用的信号处理技术：

低通滤波器：用于去除高频噪声，保留低频信号。常用的低通滤波器包括 RC 滤波器和数字低通滤波器（如 FIR 滤波器）。

移动平均滤波：一种简单有效的去噪方法，通过计算一段时间内信号的平均值，平滑短时间内的噪声。

卡尔曼滤波器：用于实时信号处理的先进滤波技术，通过递归方式估计系统的状态，适合处理动态变化的信号。

中值滤波器：通过选取一段时间内信号的中值，去除尖峰噪声和突变干扰。

信号处理模块在接收到传感器信号后，首先进行滤波和去噪处理，提取出有效的人员检测信息，再传输给控制单元进行进一步分析和处理。

外呼自动取消的逻辑算法设计

外呼自动取消系统的核心是逻辑算法的设计，包括按键按下、定时器启动、人员离开检测和呼叫取消等步骤。以下是详细的算法设计过程：

按键按下检测：当乘客按下外呼按钮时，系统记录按键事件，并同时启动定时器。按键按下事件触发传感器进行人员状态监测。

定时器启动：定时器用于设定一个观察窗口，在该时间窗口内，系统持续监测外呼楼层的人员状态。如果定时器到期前检测到人员离开，则继续下一步逻辑。

人员离开检测：传感器实时监测外呼楼层的人员状态。如果在定时器设定的时间窗口内，传感器检测到人员离开，则进入外呼取消逻辑。具体检测方法包括：红外传感器：持续监测红外辐射强度变化，当辐射强度低于预设阈值时，判断人员已离开。

超声波传感器：监测返回信号的距离变化，当距离超出预设范围时，判断人员已离开。

毫米波雷达：通过信号的频移和时间差变化，判断人员的离开情况。

呼叫取消：在定时器时间窗口内检测到人员离开后，控制单元向电梯控制系统发送外呼取消指令。具体步骤包括：取消定时器：停止定时器，避免重复触发。

发送取消指令：通过控制接口（如 CAN 总线、RS485 或其他）向电梯主控制器发送取消外呼请求的指令。

三、安全性与可靠性

（一）系统安全性分析

自动取消外呼功能引入的潜在安全问题：

误取消：乘客未离开却被误识为离开，导致外呼请求被取消，乘客需重新呼叫。

未取消：人员已离开但外呼请求未被取消，造成电梯无效停层。

安全性保障措施：

多重检测：采用多种传感器（如红外、超声波、毫米波雷达）联合检测，交叉验证人员状态，减少单一传感器误报的概率。

冗余设计：在关键节点设计冗余系统，可在主系统故障时切换备用系统，确保持续运行。

（二）系统可靠性评估

传感器误报与漏报处理：

信号交叉验证：通过不同类型传感器的信号交叉验证，提高检测准确性。

误差校正：利用历史数据和模式识别算法进行误差校正，减少误报和漏报。

系统的可靠性测试：

长时间运行测试：在模拟真实环境中进行长时间无间断运行，验证系统稳定性。

极端条件测试：在高温、低温、高湿等极端条件下测试，确保系统在任何环境下均能正常工作。

可靠性结果分析：

故障率：定期统计系统故障次数，分析故障原因，优化系统设计。

MTBF（平均无故障时间）：通过长时间运行测试，计算系统的平均无故障时间，目标值应在数万小时以上，确保系统高可靠性。

四、结论

本文详细探讨了外呼自动取消系统的设计与实现，包括传感器选择、信号处理、算法设计、安全性和可靠性评估。研究结果表明，外呼自动取消技术能够有效减少无效停层，提高电梯运行效率，节省能耗，具有显著的实际应用价值。系统通过多传感器融合和先进的算法设计，确保检测的准确性和可靠性，为电梯智能化管理提供了新的思路。

参考文献

[1]Wang, H., & Zhang, Y. (2019). A comprehensive review of elevator control strategies.Journal of Intelligent Transportation Systems, 23(4), 290-306.

[2]Li, X., & Liu, J. (2020). Human motion detection and recognition for smart elevator control using deep learning.IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(4), 2342-2351.

[3]Kim, S., & Park, J. (2018). An intelligent elevator group control system based on passenger traffic prediction.IEEE Transactions on Smart Buildings, 5(2), 123-135.

[4]Chen, L., & Gao, Y. (2017). Real-time passenger detection and elevator dispatching system based on infrared sensors.Sensors, 17(9), 2034.

[5]Luo, H., & Zhang, Q. (2018). Smart elevator group control systems based on artificial intelligence techniques.IEEE Access, 6, 123-136.

[6]Xu, L., & Li, P. (2020). A novel approach to elevator control using human presence detection and dynamic scheduling.Journal of Building Engineering, 29, 101439.

[7]Wang, M., & Chen, J. (2019). Enhanced elevator control using human presence and behavior recognition.IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 16(4), 1573-1585.

[8]Sun, Y., & Liu, Q. (2019). Human activity recognition for smart building applications using wearable sensors.IEEE Sensors Journal, 19(20), 9489-9499.

[9]Kim, J., & Lee, K. (2018). Development of a context-aware smart elevator system using user behavior prediction.Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 9(6), 1895-1905.

[10]Huang, R., & Wang, L. (2021). A survey of intelligent control systems for elevator group control.Journal of Control Science and Engineering, 2021, 1-10.

超临界汽轮机热力循环系统的优化与节能分析

阳静

黔西电厂，贵州 毕节 551501

摘　　要： 本文深入探讨了超临界汽轮机热力循环系统的优化与节能分析。文章概述了超临界汽轮机热力循环系统的工作原理与构成特点，随后分析了当前系统存在的主要问题。在此基础上，提出了三点优化策略，包括改进热力循环结构、提高汽轮机本体效率以及优化热力系统辅助设备。这些策略旨在提升系统热效率，减少能源消耗，实现绿色可持续发展。通过理论与实践相结合，为超临界汽轮机热力循环系统的优化提供了有力支持。

关 键 词： 超临界汽轮机；热力循环系统；热效率

Optimization and Energy Saving Analysis of the Thermal Cycle System of Supercritical Steam Turbine

Yang Jing

Qianxi power plant, Bijie, Guizhou 551501

Abstract: This paper deeply discusses the optimization and energy saving analysis of the thermal cycle system of supercritical steam turbine. This paper summarizes the working principle and constituent characteristics of the thermal cycle system of supercritical steam turbine, and then analyzes the main problems of the current system. On this basis, three optimization strategies are proposed, including improving the thermal cycle structure, improving the efficiency of steam turbine and optimizing the auxiliary equipment of thermal system. These strategies aim to improve the thermal efficiency of the system, reduce energy consumption, and achieve green and sustainable development. Through the combination of theory and practice, it provides strong support for the optimization of the supercritical steam turbine thermal cycle system.

Keywords: supercritical steam turbine; thermal cycle system; thermal efficiency

随着全球能源需求的不断增长，提高能源利用效率已成为当前工业发展的重要方向。超临界汽轮机作为高效发电设备，其热力循环系统的性能优化与节能分析具有重要意义。本文旨在通过深入研究，为超临界汽轮机热力循环系统的优化提供理论参考和实践指导。

一、超临界汽轮机热力循环系统工作原理

（一）超临界状态利用

超临界汽轮机热力循环系统的工作原理首先体现在对超临界状态的巧妙利用上。在物理学中，超临界状态指的是物质在高于其临界温度和临界压力下的状态，此时物质不再有明显的气液分界面，而是形成一种介于气体和液体之间的特殊状态——超临界流体。超临界汽轮机正是利用了这种超临界流体的独特性质，通过高温高压条件下的超临界工质（通常是水蒸汽）来驱动汽轮机进行发电。在这种状态下，超临界工质具有较高的密度和较低的粘性，使得其在汽轮机中的流动更加顺畅，能量转换效率更高。同时，超临界工质在汽轮机中的膨胀过程也更加充分，能够释放出更多的热能，转化为机械能，进而驱动发电机发电。因此，超临界汽轮机热力循环系统能够实现高效能量转换，提高发电效率，降低能源消耗，是当前电力工业中一种重要的发电方式[1]。

（二）再热循环

在超临界汽轮机热力循环系统中，再热循环是一个至关重要的环节。通过引入再热过程，系统能够显著提高蒸汽的温度，进而提升整个热力循环的热效率。具体来说，蒸汽在高压缸做完功后，会被抽出并送入再热器中进行再次加热，随后再送回中、低压缸继续做功。这一过程的实现，依赖于精密的再热器设计和高效的热能传递机制。再热器中的加热过程通常利用锅炉中剩余的高温烟气来完成，使得蒸汽温度得以大幅度提升[2]。通过再热，蒸汽在进入中、低压缸时能够保持较高的过热度，有效避免了因蒸汽湿度过高而引起的汽轮机叶片侵蚀和效率下降等问题。此外，再热循环还能够在一定程度上提高汽轮机的稳定性和安全性。由于蒸汽温度的提升，汽轮机内部的热应力得到了有效降低，从而延长了设备的使用寿命。同时，再热循环也有助于优化

作者简介：阳静（1993-），男，汉族，四川省资阳市人，专科，助理工程师，研究方向：汽机运行。

汽轮机的做功过程，使其更加适应高参数、大功率的发电需求。

（三）汽水分离与再热

汽水分离与再热环节是超临界汽轮机热力循环系统中不可或缺的一部分，它直接关系到汽轮机工作介质的纯净度和热能利用效率。在汽水分离器中，高温高压的湿蒸汽经过特殊设计的分离结构，能够有效地将水分从蒸汽中分离出来，确保进入汽轮机的是干燥且纯净的蒸汽。这一过程对于防止汽轮机内部积水和提高热效率至关重要。分离出的蒸汽随后进入再热器进行加热。再热器通常位于锅炉的尾部烟道或专门的再热烟道中，利用锅炉烟气中的余热对蒸汽进行二次加热，使其温度提升至更高的水平。这一过程不仅提高了蒸汽的热能含量，还使得蒸汽在进入汽轮机后续做功阶段时能够保持较高的过热度和干度，从而减少了因蒸汽湿度过高而引起的能量损失和汽轮机部件的侵蚀。汽水分离与再热的紧密配合，不仅提高了超临界汽轮机热力循环系统的整体热效率，还确保了汽轮机运行的安全性和稳定性。

二、超临界汽轮机热力循环系统的构成与特点

（一）系统构成

超临界汽轮机热力循环系统是一个复杂而高效的能量转换系统，主要由锅炉、汽轮机、凝汽器和再热器等关键设备构成，这些设备协同工作，共同完成了从热能到机械能，再到电能的转换过程。锅炉是热力循环系统的起点，它负责将燃料中的化学能转化为高温高压的蒸汽热能[3]。蒸汽随后进入汽轮机，推动汽轮机叶片旋转，从而将热能转换为机械能。汽轮机通常由高压缸、中压缸和低压缸等多个部分组成，以适应不同压力和温度的蒸汽做功需求。凝汽器则位于汽轮机的末端，负责将汽轮机排出的乏汽冷凝成水，以便重新送回锅炉进行加热，形成闭式热力循环。这一过程中释放出的热量被冷却水带走，排放到环境中。再热器则位于锅炉和汽轮机之间，用于对从高压缸排出的蒸汽进行二次加热，以提高蒸汽的过热度和做功能力，从而进一步提升系统的热效率。这些关键设备的紧密配合和高效运行，共同构成了超临界汽轮机热力循环系统的核心[4]。

（二）高效性

超临界汽轮机热力循环系统以其卓越的高效性而著称，这一特点主要体现在其能够充分利用燃料能量，最大限度地减少能源浪费。相较于传统的亚临界汽轮机热力循环系统，超临界系统在提高蒸汽温度和压力方面有着显著的优势。在超临界状态下，水的物理性质发生显著变化，使得蒸汽在汽轮机中的膨胀过程更加充分，能量转换效率更高。此外，超临界汽轮机热力循环系统还通过采用先进的再热技术和汽水分离技术，进一步提高了系统的热效率。再热技术通过加热从高压缸排出的蒸汽，使其在进入中、低压缸时能够保持较高的温度和压力，从而增加了蒸汽在汽轮机中的做功能力。汽水分离技术则确保了进入汽轮机的蒸汽是干燥且纯净的，避免了因水分存在而引起的能量损失和汽轮机部件的侵蚀。正是这些先进技术的应用，使得超临界汽轮机热力循环系统能够实现高热效率，为电力工业的发展提供了强有力的支持。

（三）稳定性

超临界汽轮机热力循环系统在设计上充分考虑了稳定性这一关键因素，确保系统能够在各种复杂多变的工况下稳定运行，从而保障发电质量和安全性。这一特点的实现，得益于系统内部各组件的精密配合和高效协同[5]。在系统运行过程中，锅炉、汽轮机、凝汽器和再热器等关键设备均经过严格的质量控制和性能测试，以确保其能够在高温高压等极端环境下长期稳定运行。同时，系统还配备了先进的控制系统和监测设备，能够实时监测系统的运行状态和参数变化，及时发现并处理潜在的安全隐患。此外，超临界汽轮机热力循环系统还采用了多种冗余设计和故障保护措施，以应对可能出现的突发情况。这些措施包括备用蒸汽源、紧急停机装置等，能够在系统故障或异常情况发生时迅速响应，确保系统的安全性和可靠性[6]。

三、超临界汽轮机热力循环系统存在的问题

（一）汽轮机本体效率不足

超临界汽轮机热力循环系统在实际运行过程中，常面临一个严峻挑战，即汽轮机本体效率不足。这一问题的直观表现是缸效率等关键性能指标的实际运行值显著低于设计预期。缸效率作为评估汽轮机做功能力的重要标尺，其数值的高低直接反映了蒸汽在汽轮机缸内膨胀过程中能量转换的充分程度。当缸效率偏低时，意味着蒸汽蕴含的热能未能得到充分的机械能转化，这不仅削弱了系统的热效率，还可能导致能源的浪费[7]。深入探究汽轮机本体效率不足的原因，我们发现这是一个由多重因素交织而成的复杂问题。汽轮机内部结构设计的不合理性、叶片在长期运行中因磨损或积垢而性能下降、以及密封性能的退化等，都是造成这一问题的关键因素。这些因素不仅直接影响了汽轮机的做功效率，还可能加速设备的磨损和老化进程，进一步缩短了设备的使用寿命。因此，提高汽轮机本体效率，已成为优化超临界汽轮机热力循环系统性能、提升能源利用效率的重要课题。

（二）热力系统辅助设备不完善

超临界汽轮机热力循环系统的经济性和运行效率，不仅深受汽轮机本体性能的影响，热力系统辅助设备的完善程度同样起着举足轻重的作用。在实际运行中，冷端系统及设备、回热系统及设备等关键辅助设备的不完善性，成为了制约系统性能提升的瓶颈。冷端系统作为热力循环中的重要一环，承担着将汽轮机排汽冷凝成水并排出系统热量的重任。然而，当凝汽器传热效率不足或冷却塔散热能力受限时，系统的排汽压力会随之升高，这不仅会增加汽轮机的背压，降低其做功效率，还会提高系统的热耗率，从而影响整体的经济性。回热系统则通过抽取汽轮机做功后的部分蒸汽来加热给水，以回收利用部分热能，提高系统的热效率。然而，若回热设备存在泄漏或传热性能退化等问题，将导致给水加热不足，降低系统的热经济性[8]。

（三）汽水品质问题

汽水品质是衡量超临界汽轮机热力循环系统性能的一个重要

标尺。汽水品质的好坏，直接关系到汽轮机通流部分的清洁度和运行效率。当汽水品质差，即蒸汽和给水中的杂质含量过高时，汽轮机的通流部分，如叶片、缸体等，就会遭受严重的结垢问题[9]。这些垢层的存在，不仅极大地增加了汽轮机的流动阻力，使得蒸汽在流通过程中的能量损失显著增加，降低了流通效率，而且还会严重破坏汽轮机的热力平衡状态。热力平衡的失衡，会进一步导致汽轮机的相对内效率大幅度下降，使得整个热力循环系统的性能大打折扣。汽水品质问题若得不到有效解决，将严重制约超临界汽轮机热力循环系统的高效、稳定运行，甚至可能引发一系列的安全隐患。

四、超临界汽轮机热力循环系统的优化策略

（一）改进热力循环结构

针对超临界汽轮机热力循环系统，优化其热力循环结构是提升系统性能的关键策略之一。具体而言，可以通过改进再热循环和汽水分离过程，来显著提高蒸汽品质和系统热效率。在再热循环方面，可以优化再热器的设计和布置，提高再热蒸汽的温度和压力，使其更加适应汽轮机后续做功阶段的需求。同时，通过调整再热器的加热方式和加热时间，可以进一步减少蒸汽在再热过程中的能量损失，提高系统的热效率。在汽水分离过程方面，可以引入先进的汽水分离技术和设备，如高效汽水分离器、多级汽水分离系统等，以提高蒸汽的纯净度和干度。纯净度和干度更高的蒸汽能够减少汽轮机内部的积水和侵蚀现象，从而提高汽轮机的运行稳定性和使用寿命。综上所述，通过改进热力循环结构，优化再热循环和汽水分离过程，可以显著提升超临界汽轮机热力循环系统的蒸汽品质和系统热效率，为电力工业的发展提供更加高效、可靠的能源转换方式。

（二）提高汽轮机本体效率

提高汽轮机本体效率是优化超临界汽轮机热力循环系统的另一项重要策略。这主要通过技术改进和性能优化来实现，特别是针对缸效率等关键性能指标的提升。在技术改进方面，可以研发和应用新型汽轮机材料，如高强度、耐高温、耐磨损的合金材料，以提高汽轮机缸体和叶片的强度和耐久性，减少能量损失。同时，优化汽轮机内部流道设计，减少流动阻力和涡流损失，也是提高缸效率的有效途径。在性能优化方面，可以通过调整汽轮机运行参数，如蒸汽流量、压力和温度等，使其更加适应实际工况需求，提高汽轮机的做功能力和效率。此外，定期对汽轮机进行维护和检修，保持其良好的运行状态，也是确保汽轮机本体效率稳定提升的重要保障。综上所述，通过技术改进和性能优化，可以显著提高超临界汽轮机热力循环系统的缸效率等关键性能指标，从而提升整个系统的热效率和经济性[10]。

（三）优化热力系统辅助设备

优化热力系统辅助设备是提升超临界汽轮机热力循环系统稳定性和经济性的重要手段。这主要包括对冷端系统、回热系统等关键辅助设备的完善和优化。在冷端系统方面，可以升级凝汽器设备，采用更高效的传热材料和结构，提高凝汽器的传热效率和冷凝效果。同时，优化冷却塔的设计和运行，增强其对环境条件的适应性，确保凝汽器出口水温始终保持在较低水平，从而降低汽轮机排汽压力，提高系统热效率。在回热系统方面，可以改进回热加热器的设计和布置，提高加热器的传热性能和效率。通过优化回热系统的流程和控制策略，减少给水加热过程中的能量损失，提高系统整体的经济性。综上所述，通过完善和优化冷端系统、回热系统等热力系统辅助设备，可以显著提升超临界汽轮机热力循环系统的稳定性和经济性，为电力工业的发展提供更加可靠、高效的能源转换方案。

五、结论

本文通过对超临界汽轮机热力循环系统的优化与节能分析，提出了针对性的优化策略。这些策略旨在提升系统热效率，减少能源消耗，为超临界汽轮机热力循环系统的优化提供了有力支持。未来，随着技术的不断进步和创新，超临界汽轮机热力循环系统的性能将得到进一步提升，为能源领域的可持续发展做出贡献。

参考文献

[1]沈春，邵罡北. 超超临界机组汽轮机热力性能优化设计探讨［J］. 发电设备，2022,36(05):350-354.

[2]周林君. 大唐当涂660MW超临界汽轮机组节能提效改造方案应用与性能分析［D］. 东南大学，2022.

[3]王婧，杨金福，段立强，等. 高参数超超临界燃煤机组汽轮机热力系统优化设计［J］. 发电技术，2021,42(04):480-488.

[4]段金鹏，李兴华，徐殿吉. 350MW超临界汽轮机通流改造热力设计［J］. 汽轮机技术，2020,62(04):251-254.

[5]税杨浩. 超高温超超临界汽轮机组热力系统的参数优化［D］. 中国石油大学(北京),2020.

[6]苏杭，赵霄，张博，等. 涡扇发动机再压缩CCA系统热力循环耦合分析［J］. 大连理工大学学报，2024,64(05):495-506.

[7]纪现凯，翟鹏霄，樊雅青. 电厂汽轮机运行问题与对策分析［J］. 集成电路应用，2022,39(08):166-167.

[8]高宇飞，曹雁青. 石化企业自备电厂热力循环系统仿真建模与优化研究［J］. 中外能源，2022,27(04):92-96.

[9]任强，燕澍丰. 联合循环发电系统能耗热力学分析［J］. 节能，2021,40(09):9-12.

[10]唐建华，王海桥，孙定中. 基于热力循环理论的矿井中央泵房通风系统优化研究［J］. 煤矿安全，2021,52(09):147-152.

火电厂锅炉排放标准及控制技术研究

彭召润

贵州西电电力股份有限公司鸭溪运营分公司，贵州 遵义 563108

摘　　要： 本文着手对火电厂锅炉排放的污染物种类及特点进行了细致分析，包括二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等，并介绍了我国火电厂锅炉排放标准，并对这些标准与国际标准的对比进行了探讨。然后，本文详细探讨了火电厂锅炉排放控制技术，包括燃烧过程优化技术、高效除尘技术、超低排放脱硫技术、选择性催化还原（SCR）脱硝技术和节能减排技术。在本文的总结部分，提出了火电厂锅炉排放控制的多重策略，这些策略包括：完善排放标准体系、强化技术创新与研发、加大政策扶持力度、落实企业主体责任以及促进社会监督与公众参与。这些策略旨在推动火电厂锅炉排放控制技术的创新发展，为我国火电厂锅炉排放污染物的减排提供理论支持和实践指导。

关 键 词： 火电厂；锅炉；排放标准；控制技术；污染物

Research on Emission Standards and Control Technologies of Boilers in Thermal Power Plants

Peng Zhaorun

Yaxi Operation Branch of Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd. Zunyi, Guizhou 563108

Abstract: This paper conducted a detailed analysis of the types and characteristics of pollutants emitted from boilers in thermal power plants, including sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter, etc. It also introduced the emission standards for boilers in thermal power plants in China and discussed the comparison of these standards with international standards. Then, this paper delved into the emission control technologies for boilers in thermal power plants, including combustion process optimization technology, high-efficiency dust removal technology, ultra-low emission desulfurization technology, selective catalytic reduction (SCR) denitrification technology, and energy conservation and emission reduction technology. In the summary section of this paper, multiple strategies for emission control of boilers in thermal power plants were proposed, including improving the emission standard system, strengthening technological innovation and research and development, increasing policy support, implementing corporate responsibility, and promoting social supervision and public participation. These strategies aim to drive innovative development of emission control technologies for boilers in thermal power plants and provide theoretical support and practical guidance for reducing emissions of pollutants from boilers in thermal power plants in China.

Keywords: thermal power plant; boiler; emission standard; control technology; pollutant

引言

随着经济的迅猛增长和能源需求的持续攀升，火电厂作为我国电力供应的主力军，其锅炉排放问题日益凸显，引发了广泛关注。在燃烧过程中，火电厂锅炉释放出诸如二氧化硫（SO2）、氮氧化物（NOx）、颗粒物（PM）等大气污染物，这些物质对环境和人类健康构成严重威胁。

近年来，我国政府对环境保护工作给予了高度重视，陆续出台了一系列火电厂锅炉排放标准，旨在通过减少污染物排放来改善空气质量。然而，这些排放标准的实施涉及诸多技术难题，如何在确保电力供应稳定性的同时，有效地控制和降低锅炉排放污染物，成为亟待解决的关键问题。因此，我国火电厂锅炉排放控制技术的研究与应用显得尤为重要。

一、火电厂锅炉排放现状及标准

随着全球气候变化和环境污染问题的日益严重，火电厂锅炉排放问题已成为公众和政府关注的焦点。为了应对这一挑战，我国政府制定了一系列火电厂锅炉排放标准，以期减少污染物排放，改善空气质量。本节将重点介绍火电厂锅炉排放现状及标准。

（一）火电厂锅炉排放污染物种类及特点

在全面建成小康社会的目标引导下，国内对于电能需求越来越高，以煤炭为主的火电发电模式，是当前电力建设的重要组成

部分。深入分析能源结构可以发现，以煤炭为主的能源模式是未来一段时间的主要发展模式[1]。在火电厂锅炉的燃烧过程中，不可避免地会产生一系列污染物，其中主要包括二氧化硫（SO_2）、氮氧化物（NOx）、颗粒物（PM）以及汞（Hg）等。这些污染物不仅对自然生态环境构成威胁，而且对人类健康产生深远影响，例如，它们是酸雨、光化学烟雾和雾霾等环境问题的重要成因。深入认识火电厂锅炉排放污染物的种类及其特性，对于构建科学合理的排放控制策略具有至关重要的意义。这些策略的制定，不仅关乎环境保护的成效，也直接影响到能源利用的可持续性和社会经济的健康发展。

（二）我国火电厂锅炉排放标准

我国政府对于火电厂锅炉排放问题的关注体现在一系列排放标准的制定与实施上。例如，《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）等标准的颁布，不仅为火电厂锅炉排放污染物的浓度设定了严格的限值，而且对排放的监测、控制和治理等方面提出了具体而明确的要求[2]。这些标准的执行，标志着我国在火电厂锅炉排放管理方面迈出了坚实的步伐，实现了排放水平的显著提升。通过这些标准的实施，不仅促进了环保技术的进步和创新，也为推动火电行业的绿色转型和可持续发展提供了有力的制度保障。

（三）国际火电厂锅炉排放标准对比

在国际火电厂锅炉排放标准的比较中，不同国家和地区在排放限值、监测方法、治理技术等方面存在显著差异。例如，欧盟和美国等发达国家和地区对火电厂锅炉排放的要求更为严格，采用更为先进的监测设备和技术，并采用多种先进的治理技术，如湿法脱硫、干法脱硫、选择性催化还原（SCR）脱硝等，有效地减少二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等污染物的排放[3]。这些差异反映了不同国家和地区在环保政策和技术水平上的差异，也为我国在环保技术进步和创新方面提供了方向和动力。

二、火电厂锅炉排放控制技术

为了应对火电厂锅炉排放带来的环境问题，研究和应用先进的排放控制技术成为关键。本节将详细介绍几种主要的火电厂锅炉排放控制技术，包括燃烧过程优化技术、高效除尘技术、超低排放脱硫技术、选择性催化还原（SCR）脱硝技术以及节能减排技术。

（一）燃烧过程优化技术

燃烧过程优化技术，旨在通过精调燃烧机制和参数，以实现污染物生成与排放的显著降低。该技术涵盖了燃烧器的创新设计、燃料的精细预处理，以及燃烧空气的精确控制等多个方面。通过对燃烧过程的深度优化，不仅能够有效提升燃烧效率，进而促进能源的充分利用，同时还能在源头上减少氮氧化物和颗粒物等有害物质的排放[4]。这种技术的应用，体现了对环境保护与能源效率双重目标的追求，是推动火电行业向清洁、高效方向发展的关键途径。

（二）高效除尘技术

除尘技术旨在减少锅炉排放中的颗粒物对大气环境的污染。该技术主要包括电除尘器、布袋除尘器等高效过滤系统，能够有效地捕集和去除锅炉排放中的颗粒物，显著降低对环境的影响。

电除尘器通过在烟气中施加高压电场，使烟气中的颗粒物带电，并在电场力的作用下被吸附到集尘板上，从而实现颗粒物的去除。该技术具有处理烟气量大、除尘效率高等优点，但存在能耗高、易受烟气湿度影响等问题。布袋除尘器则是利用纤维滤料对烟气中的颗粒物进行过滤，实现颗粒物的捕集和去除。该技术具有除尘效率高、能耗低等优点，但存在滤料更换周期短、易受烟气温度影响等问题。

（三）超低排放脱硫技术

超低排放脱硫技术是针对火电厂锅炉排放中的二氧化硫进行控制的技术。该技术主要包括湿法脱硫、干法脱硫和半干法脱硫等。这些技术能够将锅炉排放中的二氧化硫浓度降低到很低的水平，有效地减少了酸雨等环境问题的发生。

湿法脱硫技术是利用水溶液吸收二氧化硫，常用的吸收剂有石灰石浆液、氢氧化钠溶液等。该技术具有脱硫效率高、操作简便等优点，但存在吸收剂消耗大、运行成本高的问题[5]。干法脱硫技术则是利用固态吸收剂吸收二氧化硫，常用的吸收剂有氧化钙、氧化镁等。该技术具有脱硫效率高、运行成本低等优点，但存在吸收剂再生困难、易受烟气温度影响等问题。半干法脱硫技术结合了湿法和干法脱硫的优点，采用固态吸收剂与水溶液混合的方式吸收二氧化硫。该技术具有脱硫效率高、运行成本低等优点，但存在吸收剂混合不均匀、易堵塞管道等问题。

（四）选择性催化还原（SCR）脱硝技术

选择性催化还原（SCR）脱硝技术是一种高效的氮氧化物（NOx）减排技术，广泛应用于火电厂锅炉排放控制中。SCR技术通过在锅炉排放流中注入还原剂，在催化剂的作用下将氮氧化物转化为无害的氮气和水蒸气。这种技术具有脱硝效率高、运行稳定等优点，成为火电行业应对氮氧化物排放挑战的重要手段。

SCR技术的关键在于催化剂的选择和优化[6]。目前常用的催化剂主要包括钒钛催化剂、钼钛催化剂等。这些催化剂具有较好的活性、稳定性和抗中毒性能，能够满足火电厂锅炉排放控制的需求。

（五）节能减排技术

余热回收技术、能源管理系统和绿色调度技术是火电厂锅炉运行过程中重要的节能减排手段。余热回收技术通过回收烟气中的热量，用于加热锅炉给水或发电机组的其他用途，提高能源利用效率，减少燃料消耗和能源成本。能源管理系统利用先进的监测、控制和优化技术，实时监控和管理锅炉运行过程，自动调整运行参数，优化燃烧过程，减少能源浪费[7]。绿色调度技术根据电网负荷需求和环保要求，合理调度锅炉运行，优化锅炉运行模式，减少污染物排放，提高环保水平。这些技术的应用不仅有助于减少环境污染，还能提高火电厂的经济效益，促进可持续发展。

三、火电厂锅炉排放控制策略探讨

有效的排放控制策略是实现火电厂锅炉污染物减排的关键。本节将从完善排放标准体系、强化技术创新与研发、加大政策扶

持力度、企业主体责任落实以及社会监督与公众参与等方面，探讨火电厂锅炉排放控制的策略。

（一）完善排放标准体系

为了有效地指导火电厂锅炉排放控制工作，建立一个全面而完善的排放标准体系是至关重要的。这要求持续地更新排放限值，以顺应最新的环保要求和科技进步的步伐。同时，制定更为细致的排放监测、报告和核查制度，确保排放数据的有效收集和处理[8]。此外，还需要建立与排放标准相配套的技术规范和指南，以提高标准的可操作性和执行力。通过这些措施，可以确保火电厂锅炉排放控制工作的顺利进行，从而为改善我国环境质量、实现绿色发展作出贡献。

（二）强化技术创新与研发

强化技术创新与研发是提升火电厂锅炉排放控制水平的关键所在。因此，应当显著提升对新型排放控制技术研发的投入，同时积极促进企业、高校和科研机构之间的产学研合作，以此作为推动先进技术转化和应用的动力。同时，也需紧密关注国际技术发展趋势，引进并消化吸收国外先进技术，以此增强我国在火电厂锅炉排放控制领域的自主创新能力。通过这些举措，能够为火电厂锅炉排放控制技术的持续进步注入强劲动力，从而进一步推动我国环境保护事业的发展。

（三）加大政策扶持力度

政府在推动火电厂锅炉排放控制技术发展方面扮演着至关重要的角色。为了促进环保技术的应用和普及，政府应当通过一系列政策措施，如财政补贴、税收优惠和绿色信贷等，来加大对火电厂锅炉排放控制技术的支持[9]。这样的政策扶持不仅有助于减轻企业在采用排放控制技术时的经济负担，还能够激励企业主动采取减排措施，进而推动整个火电行业向绿色发展转型。这种政策的实施，体现了政府对环境保护和可持续发展的承诺，也为火电行业的长远发展注入了活力。

（四）企业主体责任落实

火电厂作为排放控制的核心主体，其责任的落实对于实现环保目标至关重要。企业必须建立健全内部环境管理体系，确保排放控制设施的有效运行与维护，并严格执行排放标准。此外，企业应主动披露环境信息，积极接受社会监督，以此提升自身的环境责任意识[10]。通过这些措施，火电厂不仅能够履行其环保责任，还能为推动整个行业的可持续发展作出积极贡献。这种责任意识的提升和实践，将有助于构建更加和谐的环境共生关系，促进企业与社会共同迈向绿色发展。

（五）社会监督与公众参与

社会监督与公众参与在推动火电厂锅炉排放控制方面发挥着不可或缺的作用。为了确保公众能够有效地行使知情权和参与权，政府应当建立健全信息公开制度，确保环境数据的透明度和可获取性。同时，鼓励和支持环保组织、媒体和公众积极参与环境监督，共同关注和推动火电厂锅炉排放控制工作的深入开展。这种全社会共同参与的氛围，不仅能够增强公众对环境保护的认识和参与意识，还能够为火电厂锅炉排放控制提供更加广泛的社会支持和舆论监督，从而推动火电行业向更加绿色、可持续的方向发展。

四、结束语

总之，火电厂锅炉排放控制是关乎我国环境保护和能源可持续发展的重要课题。本文研究旨在为政策制定者、企业管理者以及研究人员提供有益的参考，以期进一步促进火电厂锅炉排放控制技术的研究与应用。然而，火电厂锅炉排放控制仍面临诸多挑战，需要政府、企业和社会各界共同努力，不断探索和创新，为实现我国绿色发展和生态文明建设贡献力量。

虽然研究的理论与实践意义显著，但也必须认识到其中存在的局限性。在未来的研究中，将持续关注火电厂锅炉排放控制领域的新技术和新政策，旨在为本领域的发展提供更全面和深入的支持。

参考文献

[1]高春阳. 火电厂燃煤锅炉大气污染物排放估算研究［J］. 环境科学与管理，2022,47(09):32-37.

[2]李成飞. 火电厂锅炉节能减排技术的应用［J］. 中国新技术新产品，2020,(15):86-87.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2020.15.037.

[3]焦永杰. 某厂燃气锅炉烟气氮氧化物排放治理研究［D］. 兰州交通大学，2020.DOI:10.27205/d.cnki.gltec.2020.000807.

[4]彭国伟，王翀，李雷刚，等. 燃煤供热锅炉烟气可凝结颗粒物排放特征研究［C］//中国环境科学学会，中国环境监测总站. 第三届环境监测与预警技术大会论文集. 河南省生态环境监测和安全中心；河南省郑州生态环境监测中心；河南省洛阳生态环境监测中心；中国环境科学研究院；上海淳禧应用技术股份有限公司；,2023:10.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.107534.

[5]吕龙城，李丹. 火电厂锅炉汽机联合运转实施措施研究［J］. 设备管理与维修，2023,(20):8-9.DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.10D.04.

[6]汪鑫，陈钧，范卫东. 燃煤电站锅炉掺氨燃烧与排放特性综述［J］. 洁净煤技术，2022,28(08):25-34.DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.LH22070101.

[7]刘振江. 火电厂锅炉氮氧化物排放控制技术研究［J］. 机电信息，2016,(03):65-67.DOI:10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2016.03.038.

[8]王宏亮，许月阳，薛建明，等. 燃煤机组烟气汞污染物全过程综合控制技术研究［J］. 电力科技与环保，2020,36(06):18-22.

[9]朱智勇. 火电厂锅炉烟气脱硫脱硝超低排放改造工程DCS控制系统受电操作技术分析［J］. 城市建设理论研究(电子版),2018,(15):82-83.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201815076.

[10]马洪金，徐建元，王仕龙，等. 燃煤电厂电除尘PM_(10)和PM_(2.5)的排放控制Ⅵ：以75t/h工业锅炉为例分析讨论电除尘的运行(嘉兴协鑫环保热电分析)［J］. 科技导报，2015,33(18):20-22.

火电厂锅炉燃烧过程优化与排放减少策略

王小丰

贵州西电电力股份有限公司鸭溪运营分公司，贵州 遵义 563108

摘　　要： 本文深入探讨了火电厂锅炉燃烧过程及其优化策略和排放降低技术。文章先是审视了燃料属性、燃烧机理和锅炉运行原理，以及影响燃烧效率的因素。随后，文章提出了包括燃料预处理、燃烧设备改进和过程参数优化在内的多项优化措施。在减排方面，探讨了低氮燃烧、脱硝、除尘和脱硫等技术。文章结尾部分展望了未来的发展方向和挑战，为火电厂锅炉燃烧优化和排放控制提供了科学依据和实践指导。

关 键 词： 火电厂；锅炉；燃烧过程；优化策略；排放减少

Strategies for Optimizing the Combustion Process and Reducing Emissions in Thermal Power Plant Boilers

Wang Xiaofeng

Yaxi Operating Branch of Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd. Zunyi, Guizhou 563108

Abstract: This article delves deeply into the combustion process of thermal power plant boilers, along with strategies for optimizing it and technologies for reducing emissions. It begins by examining fuel properties, combustion mechanisms, and boiler operation principles, as well as factors that affect combustion efficiency. Subsequently, the article proposes multiple optimization measures including fuel pretreatment, improvements to combustion equipment, and optimization of process parameters. In terms of emission reduction, technologies such as low-nitrogen combustion, denitrification, dust removal, and desulfurization are explored. The concluding section of the article looks ahead to future development directions and challenges, providing a scientific basis and practical guidance for optimizing the combustion process and controlling emissions in thermal power plant boilers.

Keywords: thermal power plant; boiler; combustion process; optimization strategy; emission reduction

引言

随着全球对环境保护和可持续发展的重视，火电厂作为能源产业的重要组成部分，面临着减少污染物排放和提高能效的双重挑战。锅炉作为火电厂的核心设备，其燃烧过程的优化和排放减少对于实现清洁生产和环境保护具有重要意义。

一、火电厂锅炉燃烧过程原理

火电厂锅炉燃烧过程是能源转换的核心环节，涉及复杂的物理化学变化。为了深入理解并优化这一过程，我们需要从燃料特性、燃烧反应机理以及锅炉工作原理等方面进行详细分析。

（一）燃料特性分析

火电厂锅炉的燃烧效率和环境排放直接受制于所使用的燃料特性。常见的燃料如煤、石油和天然气，各自拥有不同的化学成分和物理属性。这些燃料的元素组成、热值、挥发性、灰分以及硫含量等关键参数，均对燃烧的完整性和排放物的形成起着决定性作用。其中，煤炭中所含硫元素的主要表现形式为碳酸盐、有机硫以及硫铁矿[1]。例如，含硫量高的煤在燃烧时会产生更多的二氧化硫（SO_2），而挥发分较低的煤种可能会引起燃烧不充分的问题。

（二）燃烧反应机理

锅炉作为火电厂的核心设备，其燃烧效率及对环境的影响极大程度上取决于所采用的燃料类型。煤、石油和天然气这三种主要燃料，每一种都有其独特的化学和物理属性。这些燃料的元素成分、热值、挥发性、灰分以及硫含量等关键特性，对燃烧过程的完整性和排放物的产生有着重要影响。例如，高硫煤在燃烧过程中会释放出更多的二氧化硫（SO_2），而挥发分较低的煤种可能会导致燃烧不完全，增加污染物的排放。因此，深入了解并合理调整燃料的特性，成为提高燃烧效率和减少污染物排放的关键起点。

（三）锅炉工作原理及燃烧效率影响因素

火电厂在发电的过程中，承担发电工作的燃煤锅炉主要负责向机组内提供发电站所需要的蒸汽供应，并利用燃料在锅炉炉膛内燃的形式实现能量释放。锅炉发展燃煤对火电厂发电运行具有关键性的影响[2]。锅炉的运作原理基于燃料的燃烧，产生热能来

将水转化为蒸汽，进而推动涡轮机发电。锅炉的燃烧效率，即热能转换的效率，是衡量其性能的核心指标。这一效率受到多种因素的影响，包括燃料与空气的混合程度、燃烧温度、过剩空气系数等。同时，锅炉的设计和运行参数，如燃烧器类型、燃烧室结构、给料系统等，也对燃烧效率有着显著影响。通过对这些因素的优化，可以有效提升锅炉的热效率，并减少排放，实现更清洁、更高效的能源利用。

二、燃烧过程优化策略

为了提高火电厂锅炉的燃烧效率和减少污染物排放，燃烧过程的优化至关重要。本章将探讨燃料预处理技术、燃烧设备改进和过程参数优化等方面的策略，旨在通过实际操作和工程技术手段，实现更高效、更环保的燃烧过程。

（一）燃料预处理技术

燃料预处理是提升燃烧效率的关键起点，这一过程涵盖了粉碎、筛分、混合和干燥等多个步骤。粉碎和筛分的目的是增大燃料的表面积，从而加快燃烧反应的速度并提高燃烧的充分性[3]。混合和干燥环节则确保了燃料的均质性和燃烧过程的稳定性，为高效、清洁的燃烧打下坚实的基础。

1.粉碎与筛分

燃料预处理中的粉碎和筛分对提高燃烧效率至关重要。这些步骤通过减小颗粒尺寸来增加表面积，加快燃烧反应。为了最佳燃烧效果，粉碎和筛分的参数需根据燃料类型和锅炉设计调整。高挥发分煤需细粉碎，而高灰分煤需适当筛分。不同锅炉对燃料粒度分布的优化标准也不同。

2.混合与干燥

混合和干燥是燃料预处理的两个关键步骤，对于保证燃烧的均匀性和提高效率非常重要。混合环节通过均匀分布燃料的各种成分，消除了成分不均带来的燃烧不稳定性和排放增加的风险，提高了燃烧效率并降低了污染物排放。干燥环节的主要目的是减少燃料的水分含量，从而提高燃料的热值和燃烧效率。干燥的燃料更易于粉碎和输送，有助于整个燃烧过程的顺畅进行。

（二）燃烧设备改进

燃烧设备的改进是优化燃烧过程的关键。燃烧器和燃烧室的设计和选型对燃烧效率和排放有直接影响。

1.燃烧器设计与选型

燃烧器是锅炉燃烧系统的关键，其设计和选型对燃烧效率和环保性能至关重要。优秀的燃烧器设计能确保燃料与氧气的有效混合，促进完全燃烧，并减少有害排放[4]。为提高效率和降低氮氧化物排放，关键在于采用高效燃烧器，实现更好的燃料空气混合。分级燃烧技术也是一种有效策略，通过分阶段引入燃料和空气，降低氧气浓度，抑制 NOx 生成。优化燃烧器不仅涉及设计选择，还包括安装位置、喷嘴布局和燃烧室形状的考量。这些因素共同作用，能显著改善燃烧性能，减少不完全燃烧产物和污染物排放。

2.燃烧室结构优化

燃烧室的结构设计对燃烧效率和污染物排放有显著影响。优化的燃烧室能提供理想的燃烧环境，增加体积有助于充分混合燃料与空气，促进完全燃烧。改善流动条件，如使用先进的流动控制技术，能减少涡流和死区，确保均匀分布，提高效率。燃烧室几何形状和燃烧器与燃烧室之间的距离也是关键设计参数，它们的优化能减少温度梯度和压力波动，降低排放。

（三）过程参数优化

过程参数的优化是提高燃烧效率和减少排放的重要手段。空气过剩系数、燃烧温度和燃料与空气混合方式是影响燃烧过程的关键参数。

1.空气过剩系数调整

空气过剩系数是燃烧效率和环境影响的关键参数。适当降低该系数可提高燃烧效率并减少氮氧化物（NOx）生成，但需避免过度降低导致不完全燃烧和一氧化碳（CO）排放增加[5]。优化空气过剩系数需考虑燃料类型、锅炉设计和燃烧器性能等因素。火电厂利用先进燃烧控制技术和监测系统实时调整该系数，以最大化燃烧效率和环保性能。

2.燃烧温度控制

燃烧温度对锅炉燃烧效率和污染物排放有重大影响。提高燃烧温度能促进燃料充分燃烧，提升效率，但过高的温度会增加氮氧化物（NOx）等污染物排放。因此，优化燃烧温度控制策略，以实现高效、清洁燃烧，是至关重要的。这需要考虑燃料特性、锅炉设计和燃烧条件[6]。火电厂利用先进燃烧控制技术和监测系统实时调整燃烧温度，以最大化燃烧效率和环保性能。优化燃烧温度的目的是在保证效率的同时，减少 NOx 等污染物生成，实现清洁、可持续的能源转换。通过精确控制燃烧温度，火电厂能更好地满足环保要求，提高能源利用效率，促进环境保护和可持续发展。

3.燃料与空气混合方式优化

燃料与空气的混合对锅炉燃烧效率和污染排放至关重要。采用分级供风和旋流供风技术可以优化混合，促进完全燃烧，减少污染物。火电厂需根据燃料特性和锅炉设计选择合适的混合技术，并调整燃烧器结构、燃烧室布局和安装位置等参数，以实现高效、清洁地燃烧。

三、排放减少策略

火电厂锅炉燃烧过程中产生的氮氧化物（NOx）、粉尘和硫氧化物（SOx）等污染物对环境和人类健康造成严重影响。为了减少这些排放，行业内开发了一系列技术。

（一）低氮燃烧技术

1.空气分级燃烧

空气分级燃烧技术是一种创新的燃烧策略，它通过将传统的单一燃烧阶段分解为两个或多个阶段，巧妙地降低了燃烧区域的氧气浓度[7]。这一技术的核心在于逐步释放氧气，从而在燃料的燃烧过程中减少 NOx 的生成。这种方法不仅确保了燃烧效率，还显著降低了氮氧化物的排放，为火电厂的环保运行提供了有力的技术支持。

2.烟气再循环

烟气再循环技术是一种创新的燃烧优化手段，它通过将烟气中的一小部分循环引入燃烧区域，有效地降低了燃烧区域的氧气浓度和燃烧温度。这一策略的巧妙之处在于通过调节燃烧条件，从而在减少 NOx 生成的过程中，仍然能够保持较高的燃烧效率。

这种技术不仅能够有效地控制燃烧效率，还能够对排放物产生积极的影响。通过烟气再循环，不仅可以降低 NOx 的生成，还可以减少其他有害气体的排放，从而降低对环境的影响。此外，这种技术还能够帮助火电厂节约能源，提高能源利用效率。

（二）脱硝技术

脱硝技术是减少氮氧化物排放的有效手段，主要包括选择性催化还原（SCR）和选择性非催化还原（SNCR）。

1.选择性催化还原（SCR）

选择性催化还原（SCR）技术是一种高效且稳定的脱硝方法，它通过在催化剂的作用下，利用还原剂（如氨或尿素）与氮氧化物（NOx）反应，将其转化为无害的氮气和水[8]。这一过程在燃烧后进行，因此可以显著降低锅炉排放的氮氧化物浓度，对环境保护具有重要意义。

SCR 技术的脱硝性能表现在其高效率和稳定性上，它能够适应不同类型的燃料和燃烧条件，有效地控制氮氧化物的生成。由于其出色的性能，SCR 技术在火电厂锅炉排放控制中得到了广泛地应用，为减少氮氧化物排放、保护环境提供了强有力的技术支持。

2.选择性非催化还原（SNCR）

选择性非催化还原（SNCR）技术是一种不依赖于催化剂的脱硝方法，它通过在燃烧室或烟道内喷射还原剂（如氨或尿素），直接与氮氧化物（NOx）反应，将其转化为无害的氮气和水。尽管 SNCR 技术的脱硝效率略低于选择性催化还原（SCR）技术，但它具有投资和运行成本较低的优势。

SNCR 技术的优势在于其成本效益，这使得它成为一种具有竞争力的脱硝解决方案，尤其是在那些对投资成本和运行费用有严格限制的情况下[9]。此外，SNCR 技术通常具有较快的响应速度和易于操作的特点，使其成为火电厂锅炉排放控制中的一个重要选择。

四、燃烧过程优化与排放减少策略的协同效应

在火电厂锅炉燃烧过程中，各种优化措施和减排技术并不是孤立存在的，它们之间存在着相互作用和协同效应。本章将探讨不同优化措施间的相互作用、优化与减排技术的集成应用，以及评估这些策略协同效应的方法，以期为火电厂实现更高效、更环保的燃烧过程提供科学依据和实践指导。

（一）不同优化措施间的相互作用

不同的燃烧优化措施之间可能存在相互作用，有时甚至可能相互影响。例如，改进燃料预处理技术（如粉碎和筛分）可以增加燃料的表面积，提高燃烧效率，但同时可能增加烟尘排放。因此，需要综合考虑各种措施的效果，实现优化策略的整体最优化。

（二）优化与减排技术的集成应用

优化措施与减排技术的集成应用可以实现更好的效果。例如，低氮燃烧技术可以减少氮氧化物的生成，而 SCR 技术可以进一步降低氮氧化物的排放。将这两种技术集成应用，可以实现更低的氮氧化物排放。同样，优化燃烧过程可以提高燃烧效率，减少烟尘和硫氧化物的排放，而除尘和脱硫技术可以进一步降低这些污染物的排放[10]。通过集成应用，可以实现更高效的燃烧和更低的污染物排放。

（三）协同效应评估方法

评估协同效应的方法主要包括实验研究、数值模拟和现场测试等。实验研究可以通过实验室规模的燃烧试验，研究不同优化措施和减排技术的效果，以及它们之间的相互作用。数值模拟可以基于计算流体力学（CFD）等模型，模拟燃烧过程和污染物排放，研究不同策略的协同效应。现场测试则可以通过在实际火电厂安装测试设备，收集运行数据，评估不同策略的协同效应。这些方法的综合应用可以全面评估燃烧过程优化与排放减少策略的协同效应，为火电厂提供科学的决策依据。

五、结束语

随着科技进步和环保要求的提高，火电厂锅炉燃烧技术正经历重大变革。先进的燃烧控制系统可以利用实时监测的温度、压力和氧气浓度数据，自动优化燃烧过程，提升效率，减少排放。可再生能源的兴起促使火电厂逐步采用生物质、风能和太阳能等替代燃料，要求燃烧设备适应多种燃料并减少碳排放。而严格的环保法规要求火电厂投资新技术和设备，降低污染物排放，推动其采用更清洁、高效的燃烧技术。因此，火电厂锅炉的燃烧过程将朝着更高效、更环保的方向发展，为可持续发展贡献力量。

参考文献

[1]蓝录勤. 火力发电厂中热能动力锅炉的燃料分析［J］. 科技创新与应用，2020,(12):115-116.

[2]刘涛. 火电厂锅炉燃烧优化技术探讨［J］. 中国设备工程，2023,(22):202-203.

[3]蒋荣. 基于改进粒子群的火电厂锅炉主汽温优化控制方法［J］. 今日制造与升级，2023,(10):24-26.

[4]朱明皓. 火力发电厂锅炉运行优化策略的相关研究［J］. 机械管理开发，2023,38(10):107-109.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2023.10.042.

[5]张立宗. 电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化研究［J］. 装备维修技术，2023,(05):49-52.DOI:10.16648/j.cnki.1005-2917.2023.5.011.

[6]张强. 火电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化试验研究［J］. 工业炉，2023,45(05):19-23.

[7]朱清智，屈保中，董泽. 火电厂燃煤锅炉 NOx 排放预测模型优化设计［J］. 计算机仿真，2023,40(07):89-93+104.

[8]谭畅. 基于燃烧调控与负荷分配的燃煤电厂源头减污降碳协同优化研究［D］. 浙江大学，2023.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2023.000872.

[9]张强，何陆灿，方亚雄. 火电厂锅炉低氮燃烧改造与运行优化调整探究［J］. 中国设备工程，2023,(04):130-132.

[10]黄林敏. 基于降低飞灰含碳量的火电厂锅炉燃烧过程运行优化研究［J］. 装备维修技术，2023,(04):31-35.DOI:10.16648/j.cnki.1005-2917.2023.4.007.

基于智能算法的火力发电厂运行优化与调整研究

路修远

国家能源集团店塔电厂，陕西 榆林 719300

摘　　要： 本文研究了基于智能算法的火力发电厂运行优化，分析了传统运行模式的缺陷，介绍了遗传算法、粒子群优化、神经网络和模糊逻辑等智能算法的应用。通过建立数学模型和优化系统架构，实验结果表明，优化方法显著提高了发电效率、减少了燃料消耗和污染排放，为提升火电厂技术水平和经济环保绩效提供了有效途径。[1]

关 键 词： 智能算法；火力发电厂；运行优化；调整策略

Research on Operation Optimization and Adjustment of Thermal Power Plant Based on Intelligent Algorithm

Lu Xiuyuan

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

Abstract: This paper studies the operation optimization of thermal power plants based on intelligent algorithms, analyzing the defects of traditional modes and introducing applications of genetic algorithms, particle swarm optimization, neural networks, and fuzzy logic. By establishing a mathematical model and optimization system architecture, experimental results show significant improvements in power generation efficiency, reduced fuel consumption, and lower pollution emissions, providing an effective approach to enhance the technical level and economic-environmental performance of thermal power plants.[1]

Keywords: intelligent algorithms; thermal power plant; operation optimization; adjustment strategy

引言

（一）研究背景

随着经济的快速发展，能源需求持续增长，火力发电厂在全球电力供应中占据重要地位。然而，传统火力发电厂在运行过程中往往存在能效低下、污染排放高等问题，这不仅制约了电厂的经济效益，也对环境造成了严重影响。为了解决这些问题，提升火力发电厂的运行效率与环保水平显得尤为重要。[2]

（二）研究目的与意义

本研究旨在探索智能算法在火力发电厂运行优化中的应用，通过构建优化模型、优化运行参数和调整策略，以达到提高能源利用效率、降低污染排放和运行成本的目的。此研究不仅有助于提升火力发电厂的技术水平，还能为其他类型的发电厂提供参考和借鉴，从而推动整体能源行业的智能化发展。

一、火力发电厂运行现状与挑战

（一）火力发电厂基本工作原理

火力发电厂通过燃烧煤、天然气、石油等化石燃料产生热能，通过热能加热水生成高温高压蒸汽，推动汽轮机运转，从而带动发电机发电。整个过程涉及燃料供给系统、锅炉系统、汽轮机系统、发电机系统及辅助设备。系统各环节的高效运行是提升火电厂整体效率的关键。[3]

（二）运行过程中面临的主要问题与挑战

在实际运行中，火力发电厂面临以下主要问题与挑战：

· 参数优化困难：大量运行参数之间存在复杂的非线性关系，通过传统方法难以找到最优组合。

· 负荷预测不准：发电量需要根据负荷情况实时调整，不准确的负荷预测会影响电厂的调度和运行效率。

· 污染排放控制严格：环保法规日益严格，要求火力发电厂必须大幅减少污染物排放。

· 实时监控与调度困难：运行数据庞大且复杂，实时监控和调度管理对数据处理能力和响应时间提出了极高要求。

为解决上述问题，必须引入先进的智能算法，通过大数据分析和实时优化来提升火力发电厂的整体运行水平。[4]

作者简介：路修远（1992.11-）男，汉族，籍贯：陕西省榆林市，大学本科，研究方向：节能降耗智能优化。

二、智能算法概述

（一）智能算法的定义

智能算法是指模仿自然界中生物或物理现象的算法，能够自主学习和优化，解决复杂问题。

（二）常用智能算法介绍

·遗传算法：遗传算法是一种模拟生物进化过程的随机搜索算法，通过选择、交叉和变异等操作实现种群的不断优化。它非常适合复杂的非线性优化问题，尤其是在解决全局最优解和多目标优化问题方面表现突出。[5]

·粒子群优化：粒子群优化算法模拟鸟群或鱼群觅食行为，利用个体间的信息交流实现群体智能。该算法具有收敛快、易实现的特点，广泛应用于函数优化、神经网络训练和多目标优化等领域。

·神经网络：神经网络模拟人脑神经元的结构和工作机制，是一种强大的机器学习算法。它擅长于模式识别、分类和预测等任务，广泛应用于图像处理、语音识别和自动控制等领域。

·模糊逻辑：模糊逻辑算法模仿人类模糊思维方式，通过模糊集合和模糊推理实现决策和控制。它适用于处理复杂、不确定的系统，常用于工业控制、智能家居和医疗诊断等应用场景。[7]

三、火力发电厂运行优化模型

（一）优化模型建立

根据火力发电厂的具体工艺流程和运行特点，建立数学优化模型。该模型主要包括目标函数、决策变量和约束条件。目标函数可以是能源利用效率最大化、运行成本最小化或污染排放最小化等；决策变量则包括锅炉燃烧参数、汽轮机工况和发电机输出功率等；约束条件则结合具体设备性能参数、运行限制和环保标准，例如锅炉温度和压力的最大值和最小值、燃料的掺配比例和烟气排放浓度等。因此，该优化模型的建立需要对火力发电厂的工艺流程有深刻了解，并能够在数学上准确描述系统的输入和输出关系。[8]

（二）数据采集与预处理

优化模型的有效性和可靠性依赖于准确的数据采集和预处理。首要任务是收集发电厂运行过程中的各类数据，这些数据包括但不限于燃料消耗、发电量、排放指标、设备运行状态等。其次，对原始数据进行清洗、归一化和缺失值填充等预处理步骤。数据清洗步骤可以剔除异常值和噪声数据，归一化处理能够使不同量纲的数据具有可比性，而缺失值填充则可采用均值填充、插值法等方法。通过科学的数据预处理手段，确保输入数据的一致性和可靠性，从而提高优化模型的准确性和泛化能力。[9]

（三）评价指标与性能评估

优化模型的性能评估需要选择合适的评价指标，如能源利用效率、环境排放指标、经济效益等。能源利用效率指标可以包括热效率、燃料利用率等；环境排放指标可以包括二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的排放浓度等；经济效益指标可以包括发电成本、燃料成本和运行维护成本等。通过实际运行数据对优化模型进行验证，确保模型在不同运行条件下均能有效提升发电厂的运行效率和经济效益，并满足环保要求。

四、智能算法在火力发电厂运行优化中的应用

（一）遗传算法

1. 算法原理

遗传算法（GA）是一种模拟自然选择过程的优化算法。它通过选择、交叉、变异等操作来生成新的解并在迭代过程中优化，这些新解可以逐渐逼近最优解。遗传算法特别适用于解空间巨大且复杂的问题。

2. 在火力发电厂中的应用案例

在火力发电厂中，遗传算法常用于锅炉燃烧优化、排放控制以及系统调度优化。例如，通过对燃料混合比例及燃烧参数的优化，可以有效降低污染物排放量，提高燃烧效率。

3. 优缺点分析

优点：

·能处理复杂的非线性问题。

·全局搜索能力强，不容易陷入局部最优解。

·对目标函数无特殊要求。

缺点：

·计算量较大，收敛速度可能较慢。

·参数选择较为复杂，尤其是种群大小、变异率和交叉率等。

（二）粒子群优化

1. 算法原理

粒子群优化（PSO）基于鸟群觅食的行为开发，算法通过多个粒子在解空间中进行搜索，每个粒子根据自身和其他粒子的经验调整位置，从而找到最优解。该过程包括速度更新和位置更新两个主要步骤。

2. 在火力发电厂中的应用案例

粒子群优化算法在火力发电厂的应用包括经济调度优化和发电计划安排，其优势在于快速收敛和较少的参数调整。实际应用中，PSO能够有效减少燃料消耗和运行成本。

3. 优缺点分析

优点：

·算法简单，易于实现。

·收敛速度快，所需参数较少。

·能在一定程度上避免陷入局部最优。

缺点：

·容易在复杂问题上失效（例如多峰函数）。

·参数选择对结果影响较大，需要恰当的经验设置。

（三）神经网络

1. 算法原理

神经网络是一种模拟人脑结构和功能的算法，通过大量神经元的连接及权重调整来完成任务。常用的神经网络包括前馈神经

网络、卷积神经网络和递归神经网络。它们通过不断的训练和学习调整参数，实现对复杂非线性关系的建模。

2. 在火力发电厂中的应用案例

神经网络广泛应用于火力发电厂的各种优化问题，如锅炉控制与动态建模、故障诊断和预测性维护。通过历史数据训练，神经网络可以预测锅炉效率并优化燃烧过程。[10]

3. 优缺点分析

优点：

·强大的非线性映射能力，适应性强。

·能处理大数据并在复杂任务中表现优异。

缺点：

·训练时间长，计算资源需求大。

·需要大量数据进行训练，参数调整复杂。

（四）模糊逻辑

1. 算法原理

模糊逻辑基于模糊集合理论，通过定义模糊集和模糊规则，将不确定性和人类的语言表述转化为计算机可以处理的形式。模糊逻辑系统通常包括模糊化、规则推理和去模糊化三个步骤。

2. 在火力发电厂中的应用案例

模糊逻辑在火力发电厂的应用主要体现在燃烧过程控制、排放监测和能效优化方面。利用模糊逻辑系统可以更有效地处理复杂的控制问题，提高控制精度和系统鲁棒性。

3. 优缺点分析

优点：

·能处理不确定性和模糊信息。

·模型易于理解和解释，规则直观。

缺点：

·规则设定需要专家经验，可能存在主观性。

·推理效率可能较低，对于实时控制应用有一定挑战。

五、火力发电厂运行优化系统设计

（一）系统架构设计

·数据采集层：包括各种传感器和数据采集装置，负责实时采集电厂运行的各项参数，如锅炉温度、压力、燃料消耗量、发电量等。

·数据传输层：采用高速工业以太网或无线网络，将采集到的数据传输到中央数据服务器，确保实时性和数据的完整性。

·数据处理层：利用大数据处理技术和云计算平台，对传输的数据进行清洗、存储和初步分析。

·应用层：包括优化算法模块、用户接口模块和预警模块，对数据进行全面分析和处理，并提供优化建议和报警信息。

（二）数据接口与通信模块

·数据接口：设计标准化的数据接口以兼容多种传感器和数据采集设备。使用 OPC、MODBUS 等标准协议确保不同设备间的数据互通。

·通信模块：主要包括有线和无线网络模块，采用 TCP/IP、工业以太网和 5G 通信技术，保证数据传输的高速度和稳定性。此外，还需考虑网络安全，采用 VPN、防火墙等技术保障数据传输的安全性。

（三）优化模块设计

优化模块是运行优化系统的核心，包含多种优化算法和策略。

·热能优化：针对锅炉燃烧效率、蒸汽参数进行优化。采用热力学模型和机器学习算法，实时调整燃烧参数，以达到最佳热效率。

·电能优化：结合负荷预测模型，优化发电机组的运行方式和发电计划，以减少能耗和提高发电效率。

·维护优化：根据设备运行数据进行健康状态评估和故障预测，制定预防性维护策略，减少非计划停机。

·经济优化：通过对燃料成本、电力市场价格等经济参数的分析，优化发电成本，提升经济效益。

六、实验与结果分析

（一）实验环境和数据集

实验环境采用了一台配置为 Intel i7处理器、16GB内存和 NVIDIA GTX 1080显卡的计算机，操作系统为 Ubuntu 20.04。软件环境包括 Python 3.8以及所需的机器学习和数据处理库，如 TensorFlow、scikit-learn和 Pandas。数据集来源于某大型火力发电厂的实际运行数据，包括锅炉、汽轮机、发电机等设备的历史运行参数和功率输出数据，时间跨度涵盖了过去三年的运行记录。

（二）实验设计

实验设计分为以下几个步骤：

1.数据预处理：对原始数据进行清洗，过滤噪音和异常值，采用插值法填补缺失值。然后对数据进行标准化处理，以消除不同量纲之间的影响。

2.模型训练：将预处理后的数据集分为训练集和测试集，比例为8:2。采用多种智能算法（如神经网络、遗传算法和强化学习等）分别建立优化模型。模型训练过程中，使用交叉验证法调整超参数，以提高模型的泛化能力。

3.实验验证：将测试集输入训练好的模型，生成优化后的运行参数，并与实际运行数据进行对比，以评估优化效果。

（三）结果与讨论

1. 优化效果评估

在评价优化效果时，主要考察以下几个指标：发电效率提升、燃料消耗量减少和污染物排放量降低。结果显示，采用智能算法优化后的运行参数相比实际运行数据，发电效率平均提高了5%，燃料消耗量平均减少了7%，污染物排放量平均降低了6%。

2. 结果的统计分析

通过统计分析进一步验证优化效果的显著性。使用 t检验和方差分析（ANOVA）方法，对优化前后各指标进行对比分析。结果显示，智能算法优化后的各指标数据均具有统计显著性差

异（$p<0.05$），说明优化效果显著。此外，采用五折交叉验证法（k-fold cross-validation）评估模型性能，结果表明模型具有良好的稳定性和鲁棒性。

七、结论与展望

本文通过应用智能算法，如遗传算法、粒子群优化、神经网络和模糊逻辑等，实现了火力发电厂运行参数的优化，从而提高了能源利用效率，降低了运行成本和污染排放。具体而言，本文建立了火力发电厂运行优化的数学模型，并设计了基于智能算法的优化系统架构，包括数据采集、传输、处理和应用等模块。通过实验验证，优化后的发电效率平均提高了5%，燃料消耗量平均减少了7%，而污染物排放量平均降低了6%，表现出显著的优化效果。

尽管本研究取得了一定成果，但仍存在一些不足之处。首先，优化模型仍需进一步完善，如增加更多运行约束条件和评价指标。其次，算法的计算效率和实时性有待提高，以适应更复杂的工况。此外，可以探索将多种智能算法进行融合优化，发挥各自的优势。

参考文献

[1] 何荣强，王晓凯，郑重. 一种基于智能算法的燃煤配煤掺烧技术［J］. 能源与节能，2019,(10):2-4+64.DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2019.10.002.

[2] 刘建平. 基于智能算法的火电厂锅炉燃烧优化技术探究［J］. 中国机械，2024,(07):64-67.

[3] 刘昱杰. 智能控制算法在火电站锅炉燃烧系统中的应用研究［J］. 中国设备工程，2020,(24):18-19.

[4] 乔印杰，高志佳，董振广. 基于智能算法的火电厂锅炉燃烧控制系统及系统仿真分析［J］. 科学技术创新，2022,(35):185-188.

[5] 王雷. 火力发电厂锅炉经济运行优化措施探讨［J］. 电气技术与经济，2024,(01):268-269+275.

[6]杨生嵘. 火力发电厂电气运行中故障原因及应对措施［J］. 化工管理，2019,(02):67-68.

[7]赵昀. 火力发电厂电气运行中故障原因及改善措施［J］. 现代工业经济和信息化，2019,9(10):122-123.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2019.10.52.

[8]许世春. 火力发电厂电气运行中故障原因及应对措施［J］. 电子世界，2018,(18):184+186.DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2018.18.099.

[9]姜洪，张连峰. 浅谈火力发电厂电气运行中的故障原因以及应对措施［J］. 黑龙江科技信息，2015(33):82-82. DOI:10.3969/j.issn.1673-1328.2015.33.079.

[10]黄长春. 火力发电厂电气运行中故障原因及应对措施浅探［J］. 电子世界，2016,(24):154.DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2016.24.102.

潮间带风电场浅滩机位施工方案探讨

苏小冬

江苏海上龙源新能源有限公司，江苏 南通 226000

摘　　要： 江苏沿海某潮间带风电场，长期处于水流、涌浪作用下，海底地形持续演变，在遇到强风、大浪等情况时，对海底的冲刷更为严重；此外由于大型码头建设投运，风机基础周边海床面淤泥堆积，导致部分机位点附近出现浅滩，高潮位水深不足2.2m。在此背景下若出现机组大部件损坏，大型施工船舶恐无法进点开展施工。本文立足该现状，探讨适合浅滩机位施工的各种可行方案，为潮间带风电场的后续大部件更换提供参考依据。[1]

关 键 词： 海上风电；风电场；浅滩机位；施工方案

Discussion on Construction Scheme of Shallow Position in Intertidal Wind Farm

Su Xiaodong

Jiangsu Offshore Longyuan New Energy Co., Ltd. Nantong, Jiangsu 226000

Abstract: An intertidal wind farm in the coast of Jiangsu province, under the action of water and surge for a long time, the seabed terrain continues to evolve, in the face of strong wind, big waves and other situations, the erosion of the seabed is more serious; in addition, due to the construction of large wharf, the silt accumulation on the seabed surface around the fan foundation, resulting in the shoal near some of the machine sites, the high water depth is less than 2.2m. In this context, if the large parts of the unit are damaged, the large construction ships may not be able to carry out the construction point. Based on the current situation, this paper discusses various feasible schemes suitable for the construction of the shoal station, so as to provide a reference for the subsequent replacement of large parts in the intertidal wind farm. [1]

Keywords: offshore wind power; wind farm; shallow station; construction scheme

引言

为了做好潮间带风电场浅滩机位施工工作，前期开展了多次风电场实地勘测和施工方案讨论研究，将为后续施工提供有力支撑。

一、工程概述

风电场位于江苏沿海区域，中心离岸距离约4km，根据资料及现场勘测，水深较浅的机位共27台，其中标高 +1.3m ~ 1.7m 的风机20台，全年最大潮水深2.2m；标高 +1.0 ~ 1.2m的风机7台，全年最大潮水深2.9m。由于水深较浅，市场主流的支腿船舶、坐滩船舶无法入场进行大型运维施工。[2]

二、施工条件

（一）施工机位地形

对某风电场内一台吃水较浅的机位进出航道进行现场勘测，船舶沿临近2台机位东侧选择一条宽度200米的航道进点，根据测量结果分析，测试点机位半径200米范围内，滩面地形呈北、西、东侧高，南侧低，进出测试点机位滩面高程 +1.61m，其他机位水深普遍较浅，均小于2m。

（二）施工机位水深条件

根据江苏某港口－海洋2020年潮汐简讯与统计结合机位滩面测量图（进出航道滩面高程 +1.61m），核算7月份至10月份高潮期间相应水深。机位高潮期间相应水深为1.3m ~ 2.11m之间，目前市场可用坐滩安装船空载吃水2.6m，船舶航行富余水深0.5m。进点施工需要3.1m的水深，因此该机位水深无法满足坐滩船直接施工进点要求，需采用其他方法进行施工。[3]

三、施工方案

风电场更换风机大部件，以更换某厂家风机发电机为例，主要施工工序为：施工准备→施工设备进场→放置象腿工装→叶轮

作者简介：苏小冬（1989.01－）男，汉族，江苏省南通市人，本科，助理工程师，研究方向：风电检修，身份证号：320682198901056596。

拆除→发电机拆除→安装新发电机→回装叶轮→线缆接线、电气测试。针对浅滩机位的水深条件，主要有铺路基板＋施工平台＋履带吊、开挖航道＋吊装船舶、驳船（运输船舶）＋履带吊、浮桥＋施工平台＋履带吊等施工方案。[4]

（一）铺路基板＋施工平台＋履带吊施工方案（方案一）

1.入场道路施工

机位距离海堤约4公里，拟从海堤路北侧修建一条道路直达机位附近，采用2公里土方铺路、2公里路基板铺设，预计使用土方6万平方，修筑道路路面高1米、宽度不小于7.5米，斜坡、护坡全部夯实、压实，路面标准须达到主吊行走承载力；路肩、护坡全部用土工布包严，防止海水冲垮。为确保主吊车通行，海堤转弯半径应大于17米。此项施工准备采用4台大型挖掘机、25台自卸王、2台大型推土机组成施工班组，24小时不间断施工，道路修设需要10天。[5]

2.机位点吊装作业平台建设

吊装作业平台上端面积不小于50米×50米、高度高于最大潮水水位1.5米，所筑平台满足主吊站位、叶片摆放及正常吊装要求。吊装平台全部夯实、压实，平台的平整程度及耐压程度须满足650吨吊车吊装要求，吊装平台夯实后满铺路基板，周边护坡全部用土工布防护严实，防止土源流失。此项施工准备采用2台215型挖掘机、1台50吨汽车吊、1辆25吨运输卡车配合施工，工期约2天。

3.更换发电机

查勘场地，合理规划吊装工具、设备物资，利用650吨主吊（自重130吨、长15.1米、宽6.3米、高4米、最小转弯半径是15米）、220吨汽车吊、专用吊具及常用工器具进行发电机更换作业，具体步骤：放置象腿工装－叶轮拆除－安装发电机吊梁－发电机拆除－安装新发电机－回装叶轮，线缆接线完毕、电气测试通过后完成机组复役工作，此项工作预计工期6天。[6]

综上所述，利用此施工方案预算费用450万元，施工工期约18天。

（二）疏浚航道＋吊装船舶施工方案（方案二）

1.航道疏浚施工总体要求

方案主要工序是：先开挖一条航道，便于坐滩施工船舶进入机位，开挖完成后坐滩施工船舶进点施工。坐滩施工船舶空载吃水约2.6米，船舶航行富余水深0.5m。进点施工至少需要3.1米的水深，机位周围水深无法满足船舶施工进点要求。以某厂家测试机位为例，需要开挖宽度200米、长度1138米的施工进出航道进行疏浚施工。[7]

2.施工计划总工期20天，航道疏浚完成后，绞吸船候场，等待风电安装船施工完毕，退至深水区后，绞吸船再退场。

3.疏浚工程机械和设备

据工地现场的实际情况，拟投入一艘1000m^3/h的绞吸式挖泥船，具体数据见表4.1，直径650mm高密管1000m，直径520mm钢螺旋管300m。交通船1艘，驳船1艘。

4.疏浚施工方案

①施工测量

配备疏浚工程专用GPS定位测量系统，能够在操作室内准确控制开挖断面。

②施工标志

设置挖槽标、航路标和泄泥标三种标志。用花杆和浮漂标示。

挖槽标对挖槽的边线、中线、起点、终点和转折点以及一定距离的横断面线进行标示，航路标对出挖泥船施工中转头、避让、泄泥、抛锚及布设排泥管时的安全航路进行标示，泄泥标对泄泥区的范围及泄泥的顺序进行标示。[8]

同时，施工段受潮汐影响，水位变化幅度大，且频繁。所以，施工时设立设立水位信号杆和水尺，便于肉眼直观。

③挖泥船抛锚定位

采用GPS定位系统进行定位，待挖泥船驶近挖槽起点20～30m时，航速逐渐减至极慢，待船停稳后，先测量水深，然后放置下一个定位桩，并在船首抛设两个边锚，逐步将主桩位调整到挖槽中心线位置，并使绞刀头位于起挖位置。船在行进中严禁落桩。

采用对称钢桩式抛锚，一般只需抛左右横移锚用于左、右横移摆动挖泥。若流速较大或河床底质较硬时，则应首先抛锚以稳定船位。横移锚的锚缆长度抛出边线外（锚缆长度视锚型、水域条件而定），为减少移锚次数，此处锚缆采用250m。[9]

④浮筒管线的抛设

浮筒管一般在风浪小的水域进行卡接，然后将分段管线拖到预定位置，按顺流、顺风方向逐段连接后再进位。浮筒管线的抛设，由于水域情况差异，抛设程序方法亦有所不同。

此处施工区域属沿海水域，浮筒管线抛设一般宜在高平潮时进行，先将卡接好的浮筒管线固定在吹泥区，然后将管线的另一端与挖泥船尾部的出泥管接好，用拖船或锚艇顶推水上管线使之平顺无“死弯”，及时分别将涨、落潮流向的管线锚抛设妥当。

⑤管线锚的抛设

为减少水流对管线的压力，稳定管线不使其随漂移而造成管线脱节或蹙成死角而抛设管线锚，其间隔视管线长度及水流情况而定，一般取100～200m，锚型及缆长，视流速、底质及风浪而定，风速流速影响大，底质差时锚重宜大些，缆要长些，当流速不大于1.5m/s，风速不大于11m/s时，可选用350～500kg的海军锚，若风速、流速超过超过上述数值时，应选500～1000kg的海军锚，锚缆用直径16～直径25的钢缆，由锚艇或拖船进行抛设。[10]

⑥疏浚施工方法

采用对称钢桩横挖法，这是绞吸挖泥船最常用的施工方法，即以一根钢桩为主桩（左右桩均可视驾驶员习惯而定），对准挖槽中心线下插河底，并通过利用另一根钢桩（副桩）进行换桩跨步前移。主桩前移的轨迹始终保持在挖槽中心线上并等距均匀跨步，可使绞切的平面轨迹也始终保持平行前移，避免重挖或漏挖现象。其绞切平面轨迹呈月牙形。

⑦疏浚工程量预估：拟从风机东北方向进场，至风机约1.2公里，不考虑施工期回淤，将进出航道滩面疏浚至-0.2m（85高程），疏浚工程量为244284.1立方米。

综上所述，疏浚工程量244284.1m^3、单价30元/m^3、总价约733万元；渔业赔偿约310万（接近606亩，每亩赔偿5000元）；船舶吊装施工价格171万（同期市场价格约530万），此方案施工总费用接近1214万（不包含大部件采购），施工周期约30天。

（三）驳船＋履带吊施工方案（方案三）

驳船加履带吊的方式需要驳船甲板能够有足够的承载力和空间摆放一台600T以上履带吊和叶轮，且吃水小于2m、根据市场调研，能够满足进场施工条件的浅吃水驳船，基本上是甲板货船类型，主要功能是运输管桩等用途，虽然空载吃水满足要求，但是因船体小，且受船宽限制无空余甲板放置履带吊，更无放置叶轮的位置，故无法满足施工要求。

综上所述，测试点机位无法使用驳船＋履带吊方式施工，现阶段此施工方案三不具有可行性；但此方案可在2.3m—2.6m浅水区域进行齿轮箱更换等无需摘叶轮的施工作业。

（四）浮桥＋施工平台＋履带吊施工方案（方案四）

1.入场浮桥施工

本工程所在潮间带海域海况、地势条件复杂，风场基础航道及机位附近为浅滩，该区域高潮位水深仅在1.3 ~ 2.2m之间，大型施工船舶无法进点进行吊装施工，为此，拟从海堤路北侧搭建一条长约4公里的浮（舟）桥直达机位附近，浮桥采用钢结构或钢混结构制作。

风场滩面低潮时将完全裸露，浮桥在使用过程中会经历舟片落滩状态、静浮状态及半落滩状态，因此，浮桥的选择及搭设需结合其工作状态进行核算，确保自身结构在各状态过程中可满足车辆集中载荷、静水浮力、支耳反力、河床反力、海流、风载及横向弯矩、扭矩的联合作用等。目前，国内主流使用的为分置式承压舟浮桥。

1）分置式承压舟浮桥简介

分置式承压舟浮桥建造工艺简单，遇恶劣天气可及时拆卸，且舟身迎水阻力小，在同期、同流速的情况下，同等长度的浮桥，承压舟浮桥迎水平均阻力约为带式浮桥迎水平均阻力的三分之一，因此承压舟浮桥系固缆绳的受力情况优于带式浮桥，承压舟浮桥更稳定。同时，承压舟浮桥适用性较强，在风场淤泥质滩涂上的漂浮状态、落滩及半落滩状态下都能正常使用。承压舟浮桥包含海中部分浮桥、连岸部分浮桥、水平固定系统（系固缆绳）及其他辅助设备等。

2）分置式承压舟浮桥参数选择

风电场距离海堤约4公里左右，承压舟浮桥由海堤路北侧连接至风场，浮桥总长约4公里，浮桥用于通行220T汽车吊、50T汽车吊、650T履带吊及各类运输卡车等机械设备，因此需达到各机械设备行驶载重要求。

4公里长承压舟浮桥共使用约160块25m长承压舟浮桥组件，浮桥通过海内锚及岸边的钢索斜拉固定于水面上，岸边堤岸需进行硬化处理。整个浮桥施工需多种起重设备、动力辅助船舶及各类辅助设施配合施工，诸多关键工作还需要乘潮水施工，初步估计浮桥现场搭设净工期约30天以上（不含浮桥钢结构设计、制作及发运至现场时间，浮桥钢结构制作时间约10个月）。

2.机位点吊装作业平台建设

海侧浮桥端部与风机机位之间需另搭设风机吊装作业平台，用于650T履带吊组装及与220T汽车吊配合吊装风机作业。作业平台上端面积不小于50米×50米、高度高于最大潮水水位1.5米，所筑平台需全部进行加强处理，并由专业人员进行核算，耐压强度及平整度满足650T履带吊吊装承载力要求（10T/平方）及叶片摆放要求，同时平台上部铺路基板，周边需进行防渗、防漏措施，防止海水冲刷造成基础松动。此项施工需2台215型挖掘机、1台50吨汽车吊、1辆25吨运输卡车配合施工，初步估算工期约15天。

3.更换发电机

查勘场地，合理规划吊装工具、设备物资，利用650吨主吊、220吨汽车吊、专用吊具及常用工器具进行发电机更换作业，具体步骤：650T履带吊提前现场组装－放置象腿工装－叶轮拆除－安装发电机吊梁－发电机拆除－安装新发电机－回装叶轮，线缆接线完毕、电气测试通过后完成机组复役工作。从650T履带吊组装至全部工作完成，此项工作预计工期10天。

目前国内没有做过承载量这么大的浮桥，根据初步估算，承压舟浮桥制作及搭建费用以桥面面积计，单价约为5000元/平方，4公里浮桥桥面总面积约32000平方，预计不含税总造价约1.6亿元，承压舟浮桥可重复利用。

四、施工方案探讨

综上所述，本风电场浅滩机位较可行的运维施工方案为铺路基板＋施工平台＋履带吊和疏浚航道＋吊装船舶。两种方案目前在国内都有实际施工经验，均属于成熟的施工方案。然而，本工程所在潮间带海域海况、地势条件复杂，随着时间变化，地势高程变化大，风场其他机位将来可能存在同样的问题。采用疏浚开挖航道的方法成本偏高，且存在机位航道回淤的问题，面临的挑战较大；而采用路基板的施工方案则不存在回淤的问题，且施工工艺成熟、施工价格更低、效率更高，更加适合本工程。因此本阶段推荐使用铺路基板＋施工平台＋履带吊作为本工程的施工方案。

参考文献

[1]《疏浚工程技术规范》，JTJ319-99.
[2]《水运工程质量检验标准》，JTS257-2008.
[3]《水运工程测量规范》，JTJ203-2001.
[4]《疏浚工程土石方计量标准》，JTJ/T231-96.
[5]《水运工程施工安全防护技术规范》,JTS205-1-2008.
[6]《海船系泊及航行试验通则》，GB/T3471-1995.
[7]《风力发电机组吊装安全技术规程》，GB/T37898-2019.
[8]《海洋工程环境影响评价技术导则》，GB/T19485-2014.
[9]《疏浚工程施工及验收规范》，GB50644-2011.
[10]《疏浚船舶设计规范》，GB/T16897-1997.

欧洲先进压水堆机组 GRE 负荷速降研究及处理

黄荣飞，任江

台山核电合营有限公司，广东 江门 529228

摘　　要： 负荷速降是指汽轮发电机组突然快速卸掉部分负荷的一种故障现象。负荷速降故障的发生对核电机组的安全稳定运行影响较大，必须引起运行值班人员和相关专业人员的高度重视。本文试对欧洲先进压水堆机组汽机负荷速降风险和原因进行分析，并对负荷速降结束后如何稳定机组以及欧洲先进压水堆机组设置的高 / 中压缸相互作用进行简要分析。

关 键 词： 欧洲先进压水堆；GRE；汽轮机；负荷速降；甩负荷

Study and Treatment of GRE load Speed Drop in European Advanced Pressurized Water Reactor Unit

Huang Rongfei, Ren Jiang

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., Ltd. Jiangmen, Guangdong 529228

Abstract: The load speed drop refers to the fault phenomenon of the steam turbine generator set suddenly and quickly unloading part of the load. The occurrence of load drop failure has a great impact on the safety and stable operation of nuclear power units, which must be paid great attention to by the operation duty personnel and related professionals. This paper analyzes the risk and cause of load drop in the European advanced PWR unit, and briefly analyzes how to stabilize the unit and the interaction of high / medium pressure cylinder set after the load drop.

Keywords: European advanced pressurized water reactor; GRE; steam turbine; load speed reduction; load rejection

引言

基于纵深防御的理念，欧洲先进压水堆反应堆设计了一系列负荷速降信号用于保护反应堆和汽轮机的安全。负荷速降是机组功率快速大幅度波动的一种瞬态，对机组的稳定运行造成较大的影响。如果控制系统或运行值班人员没有正确响应，有可能导致更严重的事故发生。因此运行值班人员和相关专业人员只有非常清楚负荷速降的危害和原因，才能在负荷速降故障发生时及时响应和正确处理故障[1]。

一、汽机负荷速降的危害

汽轮发电机组负荷速降，不仅给电网的稳定运行带来了一定的不利影响，而且直接对核电机组的安全运行构成了威胁，其危害性主要表现在以下几个方面：

（1）负荷速降是造成汽轮发电机组超速的主要因素。

超速的结果可能会造成超速保护动作而停机，更严重的情况还会造成汽轮发电机组因飞车而毁坏[2]。

（2）负荷速降对汽轮机造成较大的热力冲击。

负荷速降时机组负荷发生了大幅度的变化，则进入汽轮机的蒸汽量随之而减小，由于调速汽门的节流作用，通过汽轮机通流部分的蒸汽温度将发生大幅度的降低，使汽缸、转子表面受到急剧冷却，致使其遭受很大的热应力。

（3）负荷速降过程伴随着较大的机械冲击和振动。

负荷速降后由于机组负荷的突然改变，使流经汽轮机通流部分的蒸汽流量和参数随之改变，则作用于转子上的轴向推力也发生了变化，造成推力轴承和联轴器螺栓受到较大的机械冲击。并且原来运行相对平稳的转子受到不平衡的汽流冲击，诱发机组振动加剧[3,4]。

（4）负荷速降会导致蒸汽发生器水位波动，有可能导致蒸汽发生器水位低1而停堆。

负荷速降开始时，汽轮机进气阀关小，SG内压力上升，由于“压水效应”导致SG液位降低。为了维持水位，SG给水系统将开大给水调节阀门，进而使大量的冷水进入SG，从而导致SG内水体积收缩，液位进一步下降。如果此时水位调节系统异常，有可能导致SG液位低于13.8 m而跳堆（针对欧洲先进压水堆机组）。

（5）负荷速降还可能导致压力容器超压，从而引起跳堆或安全阀动作。

作者简介：黄荣飞（1983.01－），男，汉族，山东临沂，工程师，大学本科，核电运营。

当汽机负荷速降时，由于反应堆功率变化速度较汽机慢，造成一回路功率大于二回路的现象，结果一回路温度上升，一回路冷却剂因温度升高体积变大而“挤进”稳压器。进而导致一回路压力上升。如果压力调节系统不能正常响应，有可能导致跳堆或安全阀动作[5]。

二、欧洲先进压水堆机组汽机负荷速降信号

欧洲先进压水堆机组所有负荷速降信号都是通过汽轮机调节系统（GRE）作用于汽轮机进汽调节阀，减少进汽，进而使负荷快速下降。汽轮机负荷速降以后，控制方式转为直接模式，直接模式的特点是功率整定值整定出蒸汽流量，然后由蒸汽流量再计算出阀门开度。此时阀门迅速响应功率（功率是按照限制的方式输入到GRE系统）关闭到一个开度（此开度为正常运行时，蒸汽参数稳定情况下计算得出，而且是固定的，即是一个功率对应一个开度）。根据GRE及相关系统的PFUP（Process FUnction Plan）图，相关系统的SDM（System Design Manual）以及RCSL（反应堆控制、监视和限制系统）逻辑图，可以查找出导致汽轮机负荷速降信号产生的原因有以下几个方面：

（1）CEX系统故障导致的负荷速降

保护目的：在正常运行期间，在CEX系统供水能力不足的情况下快速降低汽轮机负荷，避免ADG液位降低导致APA泵跳闸，进而避免SG水位低导致停堆。

保护原理：在发电机功率高于40%Pn时，如果只有1台CEX泵运行且泵出口阀门开启，机组将以10%Pn为目标负荷，以200%Pn/min的速率进行负荷速降。但是，当降至40%Pn时，此负荷速降信号将会消失，之后功率不再下降。

（2）APA系统故障导致的负荷速降

保护目的：在正常运行期间，在APA系统供水能力不足的情况下快速降低汽轮机负荷，避免SG水位低导致停堆。

保护原理：当有给水泵再启动一台APA泵信号但是没有给水泵可以启动时，产生一个带记忆的负荷速降信号，同时记忆当前的汽机功率，机组功率以70%Pn/min的速率降负荷35%Pn。当汽机功率降低35%Pn或者汽机功率小于30%Pn后复位负荷速降信号。其逻辑简图如图1所示：

（3）GSY系统故障导致的负荷速降

保护目的：当GSY系统出现故障时，如风机均丧失或温度高，为避免导体温度高持续发热，造成封闭母线绝缘下降或损坏，设置GSY RUNBCAK信号，及时降低汽轮发电机组负荷。

保护原理：

失去IPB（分相隔离出线套管）通风：在机组功率高于55%Pn，正常运行时发电机分相隔离出线套管风机GSY2110ZV/2120ZV一台运行一台备用，当运行的风机跳闸，运行/备用信号启动备用风机，经过一定延时后备用风机没有启动。同时IPB主导体温度高于97℃，机组将以10%Pn为目标负荷，以10%Pn/min的速率进行负荷速降，如果温度没达到97℃则延时20分钟触发。但是，当降至55%Pn时，此负荷速降信号将会消失，之后功率不再下降。

（4）GSS系统故障导致的负荷速降

保护目的：当GSS出现故障时，如冷凝水箱水位高或加热器意外隔离，为避免汽轮机进水、剩余运行的GSS加热器蒸汽压力过高/流量过大以及反应堆超功率，设置GSS RUNBCAK信号，及时降低汽轮发电机组负荷。

保护原理：

a)GSS第一类故障导致的负荷速降

当汽机功率在30%Pn以上时，第一级冷凝水箱水位高于2000mm，或者第1级加热器隔离，第2级加热器的冷凝水箱水位高于2600mm。机组将以100Pn/min降至30%Pn。

b)GSS第二类故障导致的负荷速降

出现下列信号中的1个时，出现GSS RUNBACK2信号：

当汽机功率在20%Pn~30%Pn之间时，第1级加热器隔离，第2级加热器的冷凝水箱水位高于2600mm；

当汽机功率大于20%时，第1级加热器与第2级加热器隔离。

当功率降至20%Pn时，该负荷速降信号消失，机组停止降功率。

c)GSS第三类故障导致的负荷速降

机组功率高于92.4%Pn时，GSS第1级加热器隔离。出现GSS RUNBACK3信号。

机组降以5%/分的速率降至92.4%。降至目标负荷后，机组停止降功率。

d)GSS第四类故障导致的负荷速降

机组功率高于90%Pn时，GSS第2级加热器隔离。出现GSS RUNBACK4信号。

机组降以5%/分的速率降至90%。降至目标负荷后，机组停止降功率。

三、欧洲先进压水堆机组汽机负荷速降后的处理

负荷速降信号出现时，机组会出报警GRE 1118KA，为2级报警。负荷速降信号生成的“FAST UNLOADING”会给GRE 1101CG－发出一个ptyA1信号，使其处于C1位置。所以如果负荷速降信号不消失或者信号消失后没有手动切换至C2位置的话，机组功率参考值不再随着目标负荷变化。

负荷速降结束以后，首要任务是稳定机组，然后再进行后续处理。对于主控操纵员正确的操作步骤如下：

1） 在GRE 0003YC页面检查“Runback in Progress signal”提示信息出现。

2）查找导致负荷速降的原因（根据前面列举的每个负荷速降信号的不同特点，查找原因）。

3）根据当前汽机负荷调整高压缸入口压力限值。

4）复位汽机控制内部锁，将GRE1113CG－置C1。

5）调节目标功率=当前实测功率。

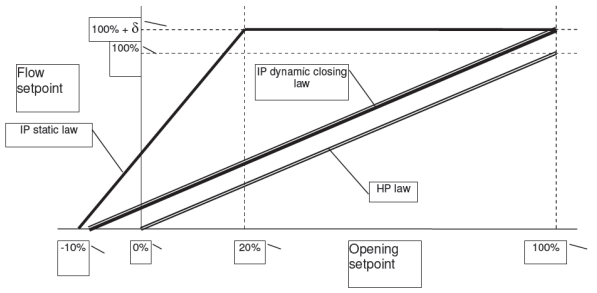
6） 将GRE 1111CG－置C2，将控制模式切到“自动模式”。

7）将 GRE 1101CG －置 C2位置，释放负荷控制。

自此，负荷速降结束后，机组已稳定在当前功率。后续再联系专业处进一步查找故障和处理[6]。

四、欧洲先进压水堆机组 GRE 阀门特性

欧洲先进压水堆机组 GRE 系统 SDM 中描述，中压缸进口调节阀与高压缸进口调节阀之间的开关先后顺序如图 1 所示：



> 图 1：中压缸阀门开启设定曲线

通过图中可以看出，中 /. 高压缸调节阀分别按照其“IP static law”/ “HP law”线性开启，中压缸调节阀在汽轮机功率为零时就有一定的开度。而且开启速度比高压缸调节阀要快（“IP static law”斜率比“HP law”大）。

汽轮机在中压缸大约最大开度的情况下运行，此时如果有“降负荷”的信号，中压缸调节阀会沿着“IP dynamic closing law”和“IP static law”之间的区域进行关闭，“IP dynamic closing law”线与“HP law”平行，可以保证关闭的速度与高压缸相同，而且后期要比高压缸开度稍大[7,8]。

与 M310 机组相比，欧洲先进压水堆机组多了一个中压缸。通过分析可以看出，如此设计的目的就是为了保证 GSS 系统压力不会增加，进而保证汽轮机的稳定运行，防止高压缸排气压力超过 13.8 bara 而导致跳机[9,10]。

在负荷快速变化时，如果中压缸调节阀先于高压缸调节阀开启，GSS 内的压力就会被憋高，很可能导致 GSS 系统超压，进而导致高压缸排气压力高跳机。同样，如果中压缸调节阀先于高压缸调节阀关闭，也会存在同样风险。同时中压缸调节阀的延时关闭，也防止了汽机超速的风险（如果高压缸进口阀门不能正常关闭，中压缸阀门的关闭可以防止汽机超速）。因此可以看出设置高 / 中压缸这种相互作用，在负荷速降时也是非常重要的。

五、结语

通过以上的分析，可以看出，负荷速降本质上只是机组自我调节和稳定的一种手段。在发生某些特定故障时，机组通过快速降低负荷以便将机组带到一个更安全的状态。相比于 M310 机组，欧洲先进压水堆机组 GRE 系统控制更加智能化、自动化。同时欧洲先进压水堆机组也增加了许多负荷速降信号，使负荷速降保护的范围更加广泛。

在欧洲先进压水堆机组，一旦发生负荷速降工况，负荷速降的过程中，操纵员是不需要做任何操作的。操纵员所做的工作，就是负荷速降结束之后机组的稳定工作。但是，正是由于其更加智能化、自动化，使得欧洲先进压水堆机组 GRE 系统的内部逻辑相当复杂。这给操纵员和相关专业人员熟练掌握该系统增加了难度。也导致一旦发生控制系统不能及时响应的时候，操纵员和专业人员不能够及时有效的进行人为干预。如果在不清楚其内部逻辑的情况下，草率干预，甚至可能使机组状况恶化，进而导致更严重的后果。

参考文献

[1] 台山核电合营有限公司. EPR 机组智能化控制的设计原理［M］. 原子能出版社 2019.
[2] 黄树红. 汽轮机原理［M］. 中国电力出版社 2008.
[3] 肖增弘. 汽轮机设备及系统［M］. 中国电力出版社 2008.
[4] 顾颖宾. 核电厂电气原理与设备［M］. 原子能出版社 2010.
[5] 王勇. 电厂汽轮机设备及运行［M］. 中国电力出版社 2010.
[6] 张涛. 核电厂操纵人员应知应会［M］. 原子能出版社 2015.
[7] 阎克智. 核电厂通用机械设备［M］. 原子能出版社 2010.
[8] 单建强. 压水堆核电厂系统与设备［M］. 西安交通大学 2021.
[9] 广东核电培训中心. 900MW 压水堆核电站系统与设备［M］. 原子能出版社 2005.
[10] 陆道纲. 二代和三代压水堆核电厂系统与设备［M］. 中国电力出版社 2023.

运行隔离在大修主机检修中安排研究及优化实践

胡诗毅

大亚湾核电运营管理有限责任公司运行二部，广东 深圳 518124

摘　　要： 900MW压水堆核电站运行多年经验，每次大修都要检修汽轮机，以确保重新启动后不会存在缺陷隐患。而汽机的检修项目种类繁多，既有运行工作也有维修工作，经过多年的经验，目前已经形成一整套较完整成熟的模式。通过总体和系统整理，对整个过程进行了汇总和分类，并作出优化尝试，将相关经验反馈提供给相关专业参考借鉴，以保证机组安全、稳定和经济的进行检修，也为核电集约化和标准化提供了可借鉴的模式。

关 键 词： 运行隔离；主机检修；优化实践

The Schedules Research and Optimization Practices of the Operational Isolation in Overhaul Host Maintenance

Hu Shiyi

Operation Branch 2,Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co.Ltd. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract: The 900MW PWR nuclear power plant has been operating for many years. Each overhaul requires overhaul of the steam turbine to ensure there are no hidden defects after the restart. However, there are many types of maintenance projects for steam turbines. There are both operational and maintenance work. After years of experience, a complete set of relatively complete and mature models has been formed. Overall and systematic understanding of this, and summarize and classify the entire process, And made an optimization attempt to provide relevant experience and feedback to the reference professional to ensure the unit safe, stable and economical overhaul. It also provides reference for nuclear power intensive and standardization of model.

Keywords: the operational isolation; overhaul host maintenance; optimization practices

一、背景

每次大修对于常规岛来说，主机上的工作（包括汽轮机、发电机与励磁机）总是常规岛大修的关键路径，而常规岛工作如有延误又往往会反过来影响核岛的启动。发展新质生产力推动高质量发展是今年以来我国经济社会的主基调。加快形成电力建设新质生产力是建设新型电力系统、构建新型能源体系的现实要求[1]，对于主机上的工作，运行人员面对的最大风险在于设备损坏及跑油，既要避免这些风险，又要保证大修工期的最优化。

在大修过程中，对大修主机检修与相对应主隔离安排研究及优化实践的介绍。并结合大修中对主机前期的出票窗口，进行了优化试验工作，对需要优化的项目进行了跟踪记录，并根据优化效果，编制了主机大修的取票逻辑框图。

二、主机全面解体工作阶段的介绍

第一阶段：盘车停止到实施 ADT GGR 00过程

在这一过程检修的主要工作是：拆除GPV001KO化装板（PW票：内部照明隔离拆除）和GEX001GA隔音罩（PI票）、以及搭设主机检修隔离区（PI票），为后面开始的轴承解体、汽缸检修、发电机和励磁机检修做好前期准备，但当有低压缸开缸工作时还需要拆除GPV***KO导汽管（需确认ADT VVP 00主隔离已实施）的PW隔离票（提前安排可以节省1天时间），在冷凝器真空破坏后，可以允许部分松开GPV***KO导汽管螺栓，防止松螺栓过程中影响冷凝器真空[2]。需等真空破坏，ADT CEX 00主隔离实施，盘车停运后，才允许发出拆除GPV***KO的工作许可证，最大风险是拆除导汽管时异物落入汽缸内，做法是只拆导汽管不拆滤网。在GRE/GSE***VV阀门试验结束后，需要安装 TSD GGR 01以配合运行进行管线排油，以防在开轴承座时跑油。

第二阶段：部分解体及数据测量阶段（ADT GGR 00和GHE 00/GEX 01/GRV00已实施）

一旦盘车停运后，我们可以进行以下的工作[3]：

发电机排氢、CO_2置换氢气，空气置换CO_2（若盘车在运行，发电机内的风扇会导致氢气和二氧化碳搅浑）。

SRI系统停运隔离。

发电机的隔离，在发电机侧接临时地线，否则会导致人员触电。

所以，在此窗口下我们可以实施的隔离有：ADT SRI 00、ADT GRV 00、ADT GEX 00/01、ADT GGR 00、ADT GHE 00[4]。这里需要注意的是：程序里要求利用9SKH的油泵将GGR润滑油进油管线、热交换器及滤网的油（维修需要安装 TSD GGR

作者简介：胡诗毅（1984.04-），男，汉族，海南省定安县人，大学本科，工程师，研究方向：核电运营。

01）以及GGR002BA的油传到SKH502BA[5]，但经过实践反馈，这是不必要的，只需要将TSD GGR 01的阀门开启，将轴承座内的油靠重力通过软管排回GGR主油箱即可。

上述主隔离实施后，维修部门就可以进行拆除励磁机SRI冷却水管，吊励磁机，为发电机抽转子做准备；发电机上的电气活动也可以开展。检修的主要工作是：拆除5个轴承座及#10-#12轴承的仪表探头、拆吊5个轴承座上盖及#1-#12轴承上半（下半不能动），发电机两侧密封装置、汽轮发电机组对轮螺栓、汽缸上半（转子不能吊出）、测量汽轮发电机组解体所需要的相应数据。这个过程需要以下许可证：GPV***KO轴承检修PX票（票中加入GGR*25PO一台顶轴油泵占用操作权）、这张票直接影响主机各项检修工作能否正常开始，GPV***KO汽缸检修PW票，GEX001GE发电机检修PW票，GEX001GA励磁机检修PW票（如与电气工作冲实、取票后需先做好电气接线断开措施）、GEX001GE发电机吹扫及绝缘测量（PR）、GGR001ET盘车检修PW票，以上许可证需同时给出。最大风险就是跑油，如需吊出转子需与运行联系关闭相对应的顶轴油阀门，同时在每次启动顶轴油泵前需要通知主控。

第三阶段：汽轮机主机全面解体过程

当第二阶段工作结束后，持GPV***KO轴承检修PX票工作负责人需将该许可证送交运行修改、取消GGR*25PO一台顶轴油泵操作权（这一阶段不需要启动顶轴油泵）。修改完后主机将进入全面解体阶段，运行可以开始实施ADT GGR 01。这时主机检修工作要临时中止以下许可证：GEX001GE发电机检修PW票、GEX001GA励磁机检修PW票、GEX001GE发电机吹扫及绝缘测量（PR）、GPV***KO轴承检修PX票等涉及发电机、励磁机检修工作。最大风险就是异物落入汽轮机[6]汽缸、油管中和电气试验中触电风险，安全措施是电气试验时中止相关工作票和做好安全措施。

第四阶段：调整和部分组装过程

当主机解体、清理、检查及数据汇总工作结束后，运行需解除ADT GGR 01对GGR001BA进油同时将PX票上顶轴油泵操作权恢复，以便进行调整测量工作。当所有数据都符合标准后，主机将进入部分组装过程（#1-#12轴承上半、密封瓦不组装）。这一过程中最大风险与第二阶段相同（跑油），主要措施也相同。

第五阶段：试验及全部组装完成过程

主要工作顺序为：首先进行GGR系统及各轴承冲洗[7]（在#1~#9轴承下半的水平接合面油口安装“U”型管将油引入轴承座内、#10轴承用塑料布封闭、#11和#12轴承室盖上盖、推力轴承不装但进油口加装临时闷头以防跑油），这需要一张PT票（另外运行需配合启停GGR004PO油泵1小时），然后进行GHE系统及密封瓦室冲洗，当GGR、GHE系统冲洗工作结束后开始回装#1~#9、#11、#12轴承上半及推力轴承，但#10轴承上半及小端盖不能回装（气密试验时需检查有无漏气）。

最后当以上各项工作完成后取发电机整体气密性试验[8]票开始进行试验。

气密试验结束后回装#10轴承上半及小端盖及励磁机隔音罩及内部消防感应探头，最后交回GGR***KO、GEX001GE及GEX001GA工作票。

第六阶段：气体置换及投盘车

当主机轴系上的工作结束还票后，需考虑投运盘车装置。投盘车前必须核对发电机出口临时接地线已拆除，润滑油泵及顶轴油泵保持运行。在进行发电机气体置换前，必须将盘车停运。在发电机机壳压力上升过程中，必须确保顶轴油泵运行，防止在升压时大轴的轴串引起干摩擦。当发电机机壳压力达到3bar时，实施下列行动：

GST充水排气，并启动GST水泵，投运GST电加热器；

对GRH热交换器进行充水排气并投运；

投运盘车。

在运行开始气体置换前需将GGR113/213FI滤芯更换（检修过程中一直使用的是旧滤芯），当滤芯更换完成后运行可以开始进行气体置换，投盘车前由常规岛经理组织相关检修部门对投盘车条件进行确认，检修人员在现场待命，启动盘车前需再次测量盘车力矩。这一阶段主要注意不要使蒸汽进入汽缸否则会造成转子热态弯曲。

三、试验验证情况

目前共安排了三个试验项目，分别是：在盘车状态安装TSD GGR03（低润滑油保护）、在盘车状态安装TSD GGR01（管线排油）、解体对轮同时发电机置换氢气。

（一）在盘车状态实施TSD GGR03/TSD GGR01

在盘车状态下实施TSD GGR03后，可以使GRE/GSE的相关试验工作及时开展，使接口时间变为负接口。

此外，在盘车状态安装TSD GGR01后能保证管线排油工作及时进行，使接口时间变为负接口，也没有任何风险。

（二）发电机置换气体同时解体对轮

以往大修，一般在机组解列后40 - 50小时发电机置换气体[9]完成，轴系及汽缸的检修工作票才具备取票条件，如果电动盘车停运后，就发出拆卸轴承箱上盖、轴承上半及对轮解体的工作票，主机的检修工作可以提前25 - 35小时，但是此时对轮解体工作就会与发电机置换气体工作同时进行，因此会担心解体对轮时盘动转子将延长气体置换时间，在大修中特安排了发电机置换氢气同时解体LP3/GEN对轮螺栓。查询日志，大修发电机置换氢气的时间为19.5小时左右，与之前大修发电机置换氢气的时间（18.5小时）相当，因此解体对轮不会延长发电机置换气体的时间。

在大修中还验证了在顶轴油泵运行及GGR管线未排油的情况下拆卸轴承箱上盖及轴承上半没有跑油的风险。

四、跟踪项目情况

根据26天大修工期的需要，对取还票的时间及窗口、系统状态转化的时间及窗口等都提出了明确的时间要求，在大修中虽然

未对上述所有项目进行优化验证，但进行了跟踪记录，通过分析跟踪记录后表明，大部分项目所做的时间规定是合理的。

五、后续需要解决或跟踪的内容

（一）主机轴系工作许可票及工作指令修改

将轴系工作分成两张票，电动盘车停运后，取出拆卸轴承箱上盖及轴承上半、对轮解体和低压外缸解体的许可票，而发电机气体置换完成后取出顶轴油泵的操作权票、轴承下半及低压内缸拆卸的许可票。

（二）短大修时 GRE/GSE/GFR 的检修工作可能成为关键路径项目

MRM/MIC 都有检修工作，两部门的工作有交叉、需要相互配合，检修工作需要 PW 票和 PT 票，这之中不仅需要运行的配合，系统的状态也需要改变，因此交叉、配合环节多，容易延误时间。

（三）高压缸冷却至拆保温的时间比预计时间长

一般要求高压缸温度≤ 120℃时拆高压缸保温，跟踪 2 号机大修需要 30 小时，1 号机大修需要 38 小时，26 天工期计划时间为 16 小时，因此相差比较大。这一冷却时间与机组停机时 3000rpm 空转的时间有一定关系，一般要求停留 30min。

（四）MRM 与 MEE 的工艺顺序的优化组合

MEE 在进行一些试验和检修工作时，发电机相关机械工作就不能进行，因此 MRM 与 MEE 的检修工艺顺序有必要进行讨论优化，特别是短大修抽发电机转子的情况。

在大修测发电机定子线棒绝缘工作耗时也比较长，使发电机气密试验往后推，在今后大修中也需要关注。

（五）发电机检修 MRM 与 MEE 的工艺顺序的优化组合

MEE 在进行一些试验和检修工作时，发电机相关机械工作就不能进行，因此 MRM 与 MEE 的检修工艺顺序有必要进行讨论优化，特别是短大修抽发电机转子的情况。

在大修测发电机定子线棒绝缘工作耗时也比较长，使发电机气密试验往后推，在今后大修中也需要关注。

六、总结

由于大修期间工作的复杂性和特殊性，大修期间需要对部分主隔离进行修改后出票，出票前，这些主隔离怎么修改，工作结束后如何恢复主隔离的隔离措施，这些需要提前计划好，统一做法。因此通过不断加深对主机工作的理解，在保证系统和人员安全的前提下，提前与专业进行沟通确认，在大修中进行优化实践，希望能得到大修工期的最优化，以实践路径推进核电高质量发展 [10]。

参考文献

[1] 龚国军，打造电建行业新质生产力，《中国电力企业管理》，2024 年 09 期.

[2] 田小慧 刘强 代元锋 郭辉，汽轮机真空波动原因分析及处置，《四川化工》，2024 年 04 期.

[3] 邢金荣，900MW 压水堆核电站运行教程（353）.

[4] 郑小国，大修期间常规岛主隔离设置和优化，《科技视界》，2016 年 06 期.

[5] 濮继龙，大亚湾核电运行教程，北京：原子能出版社.

[6] 杨林. 汽轮机调节汽阀油动机故障处理［J］. 化肥设计，2019，57(2)：59-61.

[7] 杜平 张振 李志杰，发电机转子顶起高度计算，《燃气轮机技术》，2024 年 02 期.

[8] 张兆亚 来国庆，300MW 机组发电机气密性试验不合格分析处理，《2023 年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集（下册）》.

[9] 赵国钦，氢冷发电机密封瓦供油方式对发电机安全性影响分析，《东北电力技术》，2023 年 09 期.

[10] 屈凡玉，李言瑞，杨彬. 积极安全有序发展核电助力“双碳”目标顺利实现［J］. 能源，2022，(12)：38-43.

核电厂蒸发器水压试验管板加热工艺的研究与应用

程钢，叶金梁，冉威，刘伯欢，詹震宇
中广核核电运营有限公司，广东 深圳 518000

摘　　要： 本文主要介绍了一种新型蒸发器水压试验管板加热工艺的研究与应用情况，首先结合规范的符合性分析和SG加热的ANSYS仿真建模计算开展了可行性论证，然后对传统和改进加热工艺方案进行了评估，并就新型加热工艺及产品开展了调研，工艺测试，设计研发和大修现场应用，最后对应用效果进行了总结，并拓展提出辅助加热工艺的应用前景。

关 键 词： 核电厂；蒸发器管板；加热工艺；水压试验

Research and Application of Heating Process of Evaporator in Nuclear Power Plant

Cheng Gang, Ye Jinliang, Ran Wei, Liu Bohuan, Zhan Zhenyu
CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract: It mainly introduces the research and application of a new type tube plate heating process of Steam Generator hydrostatic test, firstly combined with the compliance analysis of the specification and the ANSYS simulation modeling calculation of SG heating, the feasibility evaluation is carried out, then the traditional and improved heating process schemes are evaluated, and the new heating process and products are investigated, process tested, designed and developed and overhauled field application, and finally the application effect is summarized, and the application prospect of auxiliary heating process is expanded.

Keywords: nuclear power plants; SG tube sheet; heating process; hydrostatic test

核电厂蒸发器（简称SG）二次侧水压试验是《压水堆核岛机械部件在役检查规则》[1]（简称RSE-M规范）检查项，为了保持足够大的安全余量防止脆性破裂，要求试验温度应高于第一次试验水温和SG管板RT_{NDT}+30℃。由于传统的蒸发器充排加热[2]或循环加热工艺在试验充水前或升降压期间不能提供加热功能，因此在考虑了整个试验升降压期间温降裕度条件下一般在升压前将SG加热至43℃[3]及以上。为提高试验质量，安全和工期水平，本文主要对一种可以贯穿于整个试验的加热新工艺即管板辅助加热工艺的研究与应用情况进行阐述。

一、工艺可行性论证

针对传统SG加热工艺不能在充水前或升降压期间加热的技术瓶颈，笔者提出了在试验充水加热前在SG管板外壁区域布置辅助加热系统[4]，以不超过150℃进行水压试验加热最厚部位蒸发器管板的提前预热，可实现在充水前，原循环加热时和升降压全过程对SG管板进行加热，预计单台SG水压试验加热时间可以缩短5H以上，并消除试验升降压期间试验温度低于规范要求的风险。

鉴于蒸汽发生器属于核电厂关键主设备，为避免新工艺应用对于设备安全和设计功能造成影响，开展工艺可靠性论证如下：

（一）规范和程序符合性分析

1）压水堆核岛机械设备设计和建造规则[5](RCC-M规范）：

RCC-M 材料篇《零件采购技术规范－压水堆蒸汽发生器管板用的18MND5 Mn-Ni-Mo的合金钢锻件》描述SG材料牌号为18MND5。查询RCC-M 焊接篇《对热处理总的要求》，要求铬钢和铬钼钢预热温度在150℃和300℃之间，除铬钢和铬钼钢之外低合金钢建议最低预热温度为125℃。因此使用150℃加热设备在SG管板部位进行辅助加热仅达到了预热范畴[6]。

2）RSE-M规范

规范附录8.1 纠正性维修方法I《无热处理焊接维修的可选方法》规定采用氩弧焊焊接预热温度至少应为150℃，其他遵循RCC-M S7520和S7522章节要求。辅助加热工艺温度仅达到焊接预热温度要求，且实施加热时无焊接操作。

3）运行技术规范[7]：蒸发器运行条件下温度：291.4-310℃（设计温度316℃）

作者简介：程钢（1985.06-），男，汉族，湖北孝感人，中广核核电运营有限公司，高级工程师，本科，研究方向：核电站水压试验和在役检查技术创新与研究。

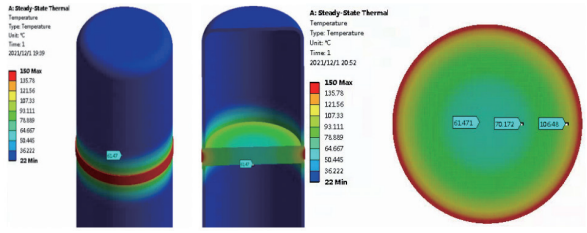
综上理论所述，辅助加热工艺控温在150℃内，低于设计温度，略低于焊接前的预热温度，同时因为没有达到焊后热处理范畴，升降温速率不会对材料产生影响，因此辅助加热不会对主设备性能产生影响。

（二）ANSYS仿真计算评估

利用 ANSYS有限元分析软件模拟蒸汽发生器管板[8]加热试验，对模型结构的热传导、热应力、热形变和热损伤进行了计算分析。

1）加热能力计算分析：

图1为筒体－管板模型热稳态计算后的温度云图，加热温度设置150℃，可观察到加热带热量向筒体周围壁面和管板逐渐扩散，达到热稳态后，距离加热带边缘约80cm的筒体区域达到最低温度22℃。管板外围与加热带接触，温度最高，由于热传导、辐射换热、对流换热效应，管板温度沿着指向圆心方向逐渐降低，得到管板下表面中心温度为61.47℃，即理想状态下，管板中心温度趋于该温度。



> 图1. 筒体－管板模型热稳态温度云图

2）加热应力计算分析

管板加热过程中，由于各点的温度分布不均匀，会产生一定的热应力。利用 Static Structual静态结构模块来分析模型受到的热应力，以稳态的温度载荷作为边界条件，加载仿真计算后可得到模型各处的热应力。

从热应力计算模型中可以观测到，最大热应力分布在加热带区域，可达到139Mpa，筒壁靠近管板上下表面的区域相对其他区域的热应力低，因为该区域的热传导途经包括了筒壁和管板，温度梯度变化较小。同时发现从管板外径到圆心的热应力变化规律为先减小、后增大，管板中心点的热应力约为33Mpa，热应力远小于下 SG管板材料力学性能。

3）加热疲劳损伤计算分析

管板加热过程中，应力集中区域容易发生热疲劳破坏。用 Ansys Workbench 有限元分析软件 Fatigue Tool模块进行疲劳仿真，探究加热对模型造成的热损伤，评估模型的寿命。假设10^{12}次为模型的无限寿命，建模计算数据显示大部分区域处于无限寿命。最小寿命为96155次，发生在加热区域上，因该区域的温度最高，对应热应力与热形变最高。根据曼纳（Miner）线性累计损伤理论，每次加热试验对蒸发器的损伤度 D表示为：D=1/Nmin=1/96155=1.03*10^{-5}。

结果显示150℃以内加热试验对蒸发器的损伤微乎其微。

基于以上规范技术要求梳理，ANSYS建模计算分析和设计方综合评估反馈，采用 SG管板外表面150℃预热的方式将 SG缓慢提升至要求温度，对设备结构完整性没有影响。

二、工艺设计与应用测试

针对 SG水压试验技术特点，课题组对传统加热方案进行了全面分析和研讨，对增加辅助加热工艺后的整体试验方案进行了推演，进一步确认了工艺可执行性。另结合管板部位的加热需求，详细勘察了加热系统的应用场景，分析了加热设备在运输方式、转运路径、使用空间、安装时长等方面存在诸多制约，设备的轻量化和使用便捷性决定了整套系统工程应用能否成功。

（一）工艺方案设计

传统试验方案[9]是将试验装置的循环加热设备连接至蒸发器二次侧系统，取 ASG001BA水约30m^3进行 SG二次侧小循环加热，由约20℃加热至43℃，其中 SG管板厚度最大最后到达目标温度，然后取 ASG001BA水充满 SG二次侧进行升降压试验。

本次改进方案是研制外部加热装置布置在 SG的管板等区域，进行 SG加热直至测温点达到目标温度，然后充水至 SG满水后进行升降压试验。

以加热时间1天简要估算3台 SG加热的外部装置功率要求如下：

$c_{金}$=0.46×10 3 J/（kg ・ ℃）

m_{SG}=329500kg，$m_{管道}$，忽略不计估算为0

$Q_{金}$=K*W=K*P*t=$c_{金}$*（3msg+ $m_{管道}$）*（43−20）

假设有效加热吸热系数 K=0.8，t=24*3600s

计算得出：P加热器（功率）=151.3KW

后经加热产品供应商针对技术要求和工件尺寸展开热工[10]计算，3台蒸发器管板一天内由20℃加热至43℃需要约180kw功率，与估算结论基本一致。

（二）加热产品调研与比较

课题组首先调研了中频感应加热方案，其具有加热效率高和设备可靠性高的优点，但是整套设备需要就近配置感应电源，重量较重和规格较大，不便于现场转运和安装，随后了解到工业管道硅胶加热技术，其采用磁吸式内置加热丝的硅胶隔热产品，转运便携安装简单，其缺点是加热功率密度低，两套产品各有优缺点，因此定制两套简易产品在 SG模拟体上进行了加热对比试验，主要差异如下：

1）运输便利性，中频感应加热方案需要中间感应电源，不便于核岛内转运；

2）使用可靠性，硅胶加热片方案偶尔因接触不好自动触发停止加热保护；

3）安装效率方面，感应加热带较重需3人配合，硅胶加热片较轻可1人操作；

4）加热时间方面，前者加热密度大效率高仅需9.5H，后者热量损失大，需要19.5H。

综合核岛内工具运输便利和设备安装剂量控制要求，以及硅胶加热片贴合可以改进原因，课题组选择了硅胶加热片方案。

（三）硅胶加热产品开发与应用

1)加热终端设计

每台蒸发器管板所在高度筒壁外表面，有4根 APG系统支

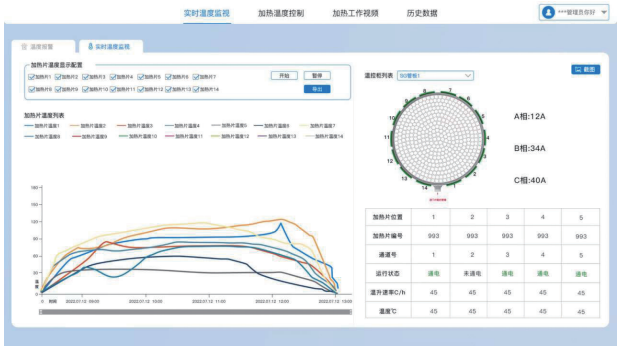
管把管板外圆周分隔成两长两短的4段间隔，长间隔和短间隔尺寸分别约为287cm和215cm，APG支管中心基本与管板上沿平齐，因此加热片要全部覆盖管板所在高度就需要避开管件所在位置。基于降低安装难度，设计全部加热片的规格统一，尺寸为675*600mm，数量为14块，对应外圆周的4段间隔分成4组，第一组和第三组由3块加热片构成，第二组和第四组由4块加热片构成。

2）就地控制柜研制

根据单台蒸发器管板加热片数量，并考虑裕量，定制满足通道数量的就地控制柜，尽量降低柜体尺寸和重量。设计16通道的控制柜，尺寸约为600*400*500mm，重量约为25kg。就地控制柜面板可显示各通道加热片当前温度，可设置控制各通道的加热温度，并能通过通讯线缆连接工作站，在工作中进行远程监控。

3）远程控制软件设计

为提高升级系统的稳定性、安全性、扩展性和适应能力，软件体系采用三层结构（Three Ties）的设计思想，深度挖掘和释放软件设计的能力和对复杂系统的适应性。软件详细设计功能包括控制，查询，监视和预警功能。其中控制包括加热启停和温度梯度控制，查询包括历史数据和报告查询，监视包括温度和视频监视，预警则包括超温提醒和火灾预警，详细界面设计如图2所示。



> 图2.辅助加热工艺远程控制软件界面

三、现场应用与总结

考虑到加热系统安装位置包括SG管板周围一圈，课题组提前对现场应用相关干涉工作进行了分析，需避开蒸发器二次侧ITV视频检查，开关手眼孔和一次侧传热管涡流检查工作，最终采取加热温度不高于130℃在试验前和过程中进行管板金属加热。

应用效果方面，项目不受SG维修和役检试验进度实现灵活启停加热工作，整体项目节约工期20余小时，为蒸发器一二侧维修役检工作时间窗口减轻了负担，同时提高蒸发器二次侧水压试验期间设备的质量和安全水平。

应用前景方面，鉴于新型加热工艺现场应用监测数据分析，管板辅助加热工艺可以在24H内实现蒸发器管板加热达到原目标温度即43℃以上，后续可考虑：1）将管板辅助加热联合SG充水加热方案制定为后续主要加热方案，以减少岛内安装TSD和布置循环软管的工作；2）将试验加热目标温度由43℃降低至40℃及以下，以优化整体项目试验工期和减少辅助加热系统投用频率。

整体而言，辅助加热工艺的研究与应用对SG二次侧水压试验的工期优化、质量管理和安全控制方面有着重要的意义。

参考文献

[1]法国压水堆核电厂核岛机械设备在役检查规则：RSE-M.FRANCE：AFCEN，1997（2000）14-15.

[2]杨炜. 蒸汽发生器二次侧水压试验［J］. 大亚湾核电，2001（2）：22-24.

[3]付平，胡培峰，聂学青，等. 大亚湾核电蒸汽发生器二次侧在役水压试验［J］. 东方电气评论，2003,(01):34-36.

[4]程钢 王东 张涛 等，蒸汽发生器二次侧水压试验工期研究和工艺创新；中小企业管理与科技；2019年第08期 145-146

[5]压水堆核岛机械设备设计和建造规则：RCC-M . FRANCE：AFCEN，2002.

[6]丁训慎. 压水堆核电站蒸汽发生器的制造［J］. 品牌与标准化，2011.24：51.

[7]阳江核电厂1、2号机组运行技术规范. 12版. 阳江核电有限公司，2021：20.

[8]蒸发器总图：PYX4430S000ENPF44DD［Z］. A版. 阳江核电有限公司，2009：1.

[9]刘伯欢 程钢 陆自立，等. 核电厂蒸发器二次侧水压试验的工艺改进和装置研发；电力设备；2018年第13期128-130.

[10]李岳林. 工程热力学与传热学［M］. 北京：人民交通出版社，2007：150-151.

欧洲压水堆先进机组 TEP 除盐水补给的研究分析

任江，黄荣飞
台山核电合营有限公司，广东 江门 529228

摘　　要： 在欧洲压水堆先进核电机组的设计中，TEP 承担了一回路除盐水的供给，而 M310 机组的除盐水由 REA 提供，其上游有 0REA 和 9ASG 用于补给除盐水的除气 [1]，而欧洲压水堆先进机组只有 TEP6 子系统用于除气 [2]，未考虑除盐水补给的冗余，这点是两者比较大的区别，从欧洲压水堆先进机组目前的运行经验看，暂未发现由于 TEP6 子系统影响机组运行的情况，但在整个寿期内，是否会出现本文中所述的问题目前还无法下结论，针对可能存在的问题，以及可能导致的后果及应对措施将在本文中进行分析和研究。

关 键 词： 欧洲压水堆先进机组；TEP；除盐水；除气器；氚

Research and Analysis on Tep Desalination Water Supply for Advanced Pressurized Water Reactor Units in Europe

Ren Jiang, Huang Rongfei
Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., LTD. Jiangmen, Guangdong 529228

Abstract: In the design of the European pressurized water reactor advanced nuclear power unit, TEP undertakes the supply of the primary dividing brine, While the demineralized solution of the M310 unit was provided by the REA, Upstream with 0 REA and 9 ASG to recharge the demineralized water[1], While only the TEP 6 subsystem is used for degassing[2], No redundancy of the demineralized water replenishment is considered, That's a big difference, From the current operation experience of European PWR units, No unit due by the TEP 6 subsystem, But throughout his life, It is currently impossible to conclude whether the questions presented in this article will arise, To address the possible problems, And the possible consequences and countermeasures will be analyzed and studied in this paper.

Keywords: European pressurized water reactor advanced unit; TEP; desalting water; degator; tritium

引言

欧洲压水堆先进机组 TEP 系统运行功能主要是处理可复用冷却剂并提供一回路所需的除盐水，在正常运行时与 REA 配合向一回路注入除盐水进行稀释或者与硼酸混合后进行自动或手动补给， TEP 提供除盐水功能的可用性直接关系到机组的运行，但除盐水的来源单一，一旦设备故障无法及时恢复将影响除盐水补给，从而威胁到机组的运行，因此，我们需要分析 TEP 除盐水的补给过程可能遇到的问题及解决办法，从而为长期稳定运行提供一个可参考的思路。

一、TEP 系统功能

TEP 系统运行功能主要是处理可复用冷却剂及提供一回路所需的除盐水：

1. 存储 RCV 和 RPE 排放的可复用冷却剂；
2. 对冷却剂进行净化和蒸发处理，分离成除盐水和硼酸；
3. 存储除盐水供 REA 的除盐水注入子系统使用；
4. 对除盐水进行除气处理，降低放射性后排放；
5. 对新补给除盐水进行除气处理，去除溶解在水中的气体。

TEP1 六个储存罐用于储存冷却剂和除盐水。欧洲压水堆先进机组在设计 TEP 系统时，根据核电站正常运行时一回路补给和排出冷却剂体积相当的特点，采用了非常灵活的储存方式，即 REA 向一回路补给多少除盐水和硼酸容积，RCV 就向 TEP 排出多少冷却剂容积，这些冷却剂又经处理为浓硼酸和除盐水，TEP1 需要储存的冷却剂和除盐水的总体积维持基本不变，只是冷却剂和除盐水所占比例在变化。如果没有维修需求，TEP1 在任何机组状态下都是要求可用的，必须随时保证对 RCV 和 RPE 可复用冷却剂的接收和提供机组所需的除盐水。

理论上来讲，TEP1 的 6 个罐子都可以接收含硼水冷却剂或者除盐水，但为了更好的运行，防止除盐水和含硼水的交叉混

作者简介：任江（1985.09-），男，汉族，江西永修，工程师，大学本科，核电运营。

和，规定一个罐子同一时刻只能储存含硼水或者除盐水中的一种流体，其入口的两个阀门不能同时开启，逻辑上设置有闭锁，通过选择罐子接收流体的种类，从而实现入口两个阀门的逻辑闭锁。

在正常功率运行时，6个罐子的使用配置要求如下：

➢一个储存罐连接在含硼水管线上；

➢一个储存罐连接在除盐水管线上；

为了安全起见，防止冷却剂和除盐水的混合，至少应保留115 m^3（一个储存罐体积）的空体积，以备能够在任何时候接收RPE的来水和一回路的排水。

从上述介绍可知，欧洲压水堆先进机组TEP1系统（即存储子系统）除盐水最多可接收5罐，至少保证一个空罐用于接收一回路排出的可复用冷却剂，因此，TEP除盐水的容积需要提前根据机组状态做好储备。

TEP1存储子系统的存储容量在设计上考虑了：

➢停堆后6 ~ 8 h最大氙浓度（短热停）时的再启动、停堆90 h后（长热停）无氙时的再启动、冷停堆无氙的再启动及换料停堆后的再启动；

➢60% ~ 100% Pn标准的负荷跟踪运行；

➢燃耗补偿为最低至5 ppm的冷却剂硼浓度；

➢RPE系统收集的（可回收的冷却剂废液和安全阀排放的）反应堆冷却剂；

➢提供机组运行所需的除盐水，如改变反应性的冷却剂稀释和反应堆冷却剂补给。

TEP1最大存储容量是根据寿期末反应堆从无氙冷停堆状态能够无延迟返回满功率这一过程所需的除盐水量来决定的。与此同时，TEP1存储容量也需要满足机组启动过程中由于主回路加热后热膨胀和除硼操作置换出冷却剂的容量要求（约100 m^3）。TEP1应始终保证有足够的存储空间来接收上述操作产生的冷却剂排放，同时也应始终保持有足够满足上述工况的除盐水，同时TEP1应始终保持有足够的除盐水存储量以满足维持2天的负荷跟踪运行所需水量。

对于欧洲压水堆先进机组TEP存储的除盐水，不仅要满足正常运行的要求，还要满足化学技术规范的要求[3] [4]，在化学技术规范中，TEP1除盐水要求氚含量小于7500MBq/t，氧含量小于0.05mg/kg，总电导率小于2μS/cm。

对于TEP系统来讲，联调阶段首次充水可以通过除盐水直接注入，但是后续的补水须经过TEP6的除气后才能对TEP1的储存罐进行补给以满足化学技术规范要求，因此TEP的除盐水量取决于TEP6的运行情况，一旦TEP6故障或者由于预防性维修，就会影响除盐水的补给，因此在进行预防性维修之前，我们需要提前做好除盐水的制水和补给，一旦TEP6故障，则无法进行除盐水的补给了，此时机组就需要依靠TEP1固有的除盐水储量维持运行，这也是欧洲压水堆先进机组TEP设计上比较大的缺陷所在，相对来说，M310机组就多了一个冗余，他们有0REA和9ASG用于补给除盐水的除气，当其中一个系统由于故障或维修时，还有另一个系统可进行除盐水除气后补给[5-6]。

二、TEP除盐水补给存在的问题

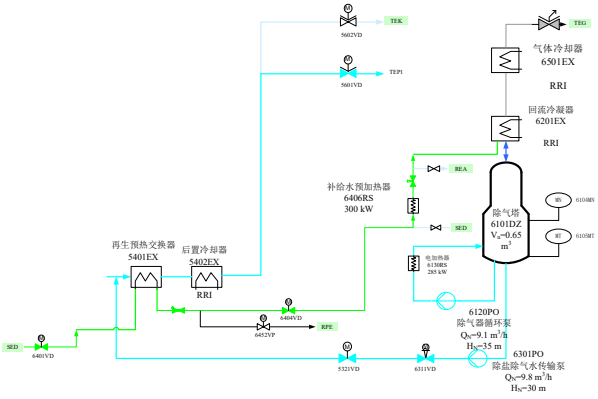
如前文所述，当机组由于氚含量高需要处理排放时，TEP就需要补给等量的除盐水以保证储水量，新除盐水的补给必须经过TEP6除气，由于欧洲压水堆先进机组为单堆设计，TEP6的设计未考虑冗余设计原则，只有一套除气设备，因此一旦TEP6故障或者由于预防性维修需要停运时，就会影响TEP除盐水的补给，下面从TEP6的运行功能来分析。

TEP6除气子系统（图1），承担了如下的运行功能：

1.TEP1储存罐补给水的除气；

2.REA制硼所需补给水的除气；

3.冷却剂处理子系统分离后的除盐水除气；



> 图1：TEP6流程简图

对于TEP6来讲，以上三大运行功能，不能同时进行，同一时刻只能执行一项功能，因此TEP6工作负荷较重，尤其当一回路水氚含量较高需要经常性排放时，TEP6就需要连续运行，那样将加重TEP6的负荷，因为在处理氚含量高的除盐水前，需要提前储备好除盐水量，否则TEP1除盐水储量下降，导致机组运行受影响，尤其在机组寿期末需要大流量稀释时，此时对除盐水的需求量将更大，TEP6要求运行的时长将更多，由于超负荷的运行加大了TEP6部件损坏的几率，也会导致除盐水补给更加困难。

三、TEP除盐水补给问题的解决办法

对于TEP除盐水补给存在的问题，设计方ANP给出的结论是，TEP6的设计满足运行要求，这主要是基于设计方提供的经验数据计算出来的，具体如下：

欧洲压水堆先进机组设计上TEP6排氚时不补水，ANP澄清TEP1储存的水量足够2天的负荷跟踪运行所需。同时欧洲压水堆先进机组设计上是考虑回收TEP3分离出来的除盐水，根据德国机组的经验数据，平均每年需排水1390立方，最高是2000立方，如果按照这个限值来安排排放，每年排放量就是2000吨（排放最大值），TEP6的处理能力是2.3 kg/s（8.4 t/h），一年排放2000吨需要处理238h（约10天），补给同容量的除盐水也需运行10天，共20天，从2000吨的运行经验数据来看，ANP认为TEP6负荷很小，能满足运行要求。

同时根据国家标准《GB 6249-2011核动力厂环境辐射防护

规定》[7]表明，针对3000MW反应堆每年总氚排放量限值为75 TBq，热功率高于此值可适当调整，因此欧洲压水堆先进机组氚排放设计满足要求[8]。

对于以上的经验数据，虽能证明满足运行需要，但是这建立在TEP6设备运行良好且一回路氚含量较低的情况下，一旦设备故障导致TEP6不可用，而机组又需要大量稀释时，或者一回路由于氚含量高需要经常性换水时，都将对TEP6的运行带来极大挑战，一旦故障导致不能提供所需的除盐水，那将会对机组运行带来影响，因此我们需要探索其他的解决方案[9-10]。

方案1：根据机组状态，优化运行，提前储备除盐水

此方案的优点是不需要进行设备改造，根据已有运行经验，确保3罐除盐水能维持正常运行超过10天的补偿燃耗稀释量要求，在这期间可以不需要TEP6补水，但需要确保TEP6的可用性，这种情况只是正常补偿燃耗的需求，一旦由于氚含量高需要经常换水时，就需要储备更多的除盐水，若TEP6的预防性维修时间超过除盐水储量可用时间，对机组稀释功能的影响将会影响机组的运行，因此TEP1除盐水储量需要时刻关注，并监视好机组参数，一旦有需要做好除盐水的提前储备。

方案2：1/2号机组TEP6相互备用

此方案优点是TEP6互相备用，对于两台机组来讲，都多了一套备用手段，一旦机组需要边排氚边补给除盐水，则能满足要求，但是此方案需要对设备进行改造，而且运行方案的制定需要同时考虑对两机组的影响，避免互相串水，从可行性来讲，此方案的改造量较小，只需在TEP6返回TEP1的管线上增加管线和阀门，从而实现互相备用，不过由于现场设备已经固化，要做改造需要对现场进行合理性分析。

方案3：在SED初始充水管线上增加一套除气器用于全厂公用

此方案优点是可以全厂公用，这样即使是后面二期项目也可以使用，达到最大的经济性，但是此方案需要额外增加一套除气器设备，耗资相对会较高，至于现场设备的布置，可以考虑参考FA3的0REA改造。

四、结论

综合来讲，当前欧洲压水堆先进机组TEP除盐水补给的设计在电厂运行中满足需要，但随着运行时间的推移，如果后续TEP6故障率较高，影响除盐水的补给时将对运行策略挑战较大，影响机组运行，那时就需要考虑方案2或者方案3的改造，从而彻底解决TEP6无冗余备用的局面，实现机组的长期稳定运行。

参考文献

[1]广东核电培训中心编. 900MW压水堆核电站系统与设备[M].原子能出版社2005.

[2]台山核电合营有限公司编. EPR机组智能化控制的设计原理[M].原子能出版社 2019.

[3]生态环境部核与辐射安全中心编. 核电厂技术规格书文件体系及发展方向[M].中国环境出版集团 2019.

[4]刘新华. 核电厂一回路源项和排放源项[M].科学出版社 2019.

[5]单建强. 压水堆核电厂系统与设备[M].西安交通大学出版社 2021.

[6]陆道纲. 二代和三代压水堆核电厂系统与设备[M].中国电力出版社 2023.

[7]生态环境部核与辐射安全中心编. 中华人民共和国国家标准《GB 14587-2011. 核电厂放射性液态流出物排放技术要求》.[S]中国环境科学出版社 2011.

[8]环境保护部发布. 中华人民共和国国家标准《GB6249-2011 核动力厂环境辐射防护规定》[S].中国环境科学出版社 2011.

[9]国家能源局发布 核电厂水工设计规范[M].中国计划出版社 2015.

[10]谢学军，廖冬梅，王瑞 压水堆核电厂水化学[M].中国电力出版社 2024.

典型3D封装器件内部金凸点开裂分析

赵永志，张震，柳溪溪

中国电子科技集团公司第十三研究所，河北 石家庄 050000

摘　　要： 将某型号3D封装器件作为研究对象，对其电性能异常现象做了定位分析；通过对器件研磨观测，确认了金凸点的失效界面；对失效界面进行FIB成像观测，证明底部填充胶界面无异常；建立产品有限元仿真模型，对其回流焊过程应力进行仿真计算，排除了产品结构问题；通过仿真及实验验证了产品在后续使用过程中因板材的翘曲造成了金凸点应力集中，最后给出了优化方案。

关 键 词： 金凸点；底部填充；堆叠

Cracking Analysis of Gold bumps inside a Typical 3D Packaged Device

Zhao Yongzhi, Zhang Zhen, Liu Xixi

13th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang, Hebei 050000

Abstract: A certain model of 3D packaged device was used as a research object and its electrical anomalies were localized and analyzed.Failure interface of gold bumps were observed by grinding of device samples.Observation of FIB imaging of the failure interface demonstrates no anomalies at the bottom filler gel interface.It established a finite element simulation model of the product and simulating the stresses of the heat reflow process to exclude the structural problems of the product.Through simulation and experimentation,it was verified that the stress concentration at the gold bump was caused by the warping of the plate during the subsequent use of the product.Finally the solution was given.

Keywords: gold bump; underfill; stacking

引言

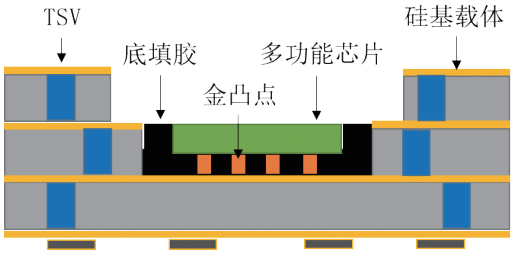
现代电子产品向着轻小型化方向快速发展，对封装集成度提出了更高的要求。3D堆叠技术是解决高集成度封装的主要技术方案[1]。采用垂直互连凸点代替传统键合引线，极大缩小了器件封装面积，有效提升了封装集成度。

随着集成度的提升，电子产品的内部结构更加复杂，其在工作过程因环境的变化可能会呈现多种失效形式[2]。如3D堆叠产品，其内部存在成百上千个凸点，任一凸点的断裂都会导致整个产品的失效。如何对产品后续使用环境做有效评估以及对产品做失效分析是当前高集成度电子产品所面临的难题[3-4]。

本文以某典型3D封装电子器件为例，对其电性能失效原因进行了分析定位，给出了产品后续使用过程中的优化方案，对3D封装产品失效分析有一定的指导意义。

一、产品信息

图1为某工程应用的3D封装器件，其以多层硅基晶圆作为芯片封装载体，层间硅基通过TSV孔实现垂直互连。多功能芯片通过金凸点倒装的方式装入硅基管壳内。倒装芯片层间通过底部填充胶进行加固[5]。硅基载体尺寸为15mm×15mm，多功能芯片尺寸为6.5mm×6.5mm，金凸点直径为65±3μm，堆叠后层间高度为50±5μm。



> 图1产品剖面示意图

此3D封装器件为T/R组件，主要功能包括：幅相控制、信号放大等。

产品交付后，后续使用过程通过BGA植球、堆叠装入多层PCB基板，焊球成份为Pb90Sn10，直径为300μm，产品后续随整机经历温度循环试验，试验条件为-55℃~85℃，转换时间≤1min，保持时间30min，10次循环。

作者简介：赵永志（1984.12-），男，河北唐山人，汉族，硕士研究生，高级工程师，从事射频微电子设计、3D封装工艺开发研究。

二、失效现象及定位

后续装配过程中，个别产品出现了增益指标低、控制位不工作的情况。根据产品结构可推断性能异常的原因包括以下三点：

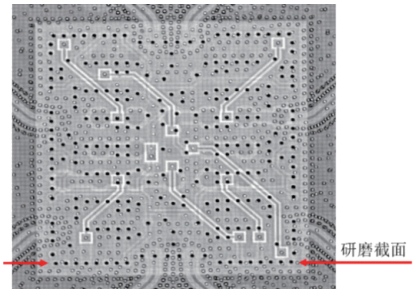
1）芯片本身损坏；

2）金－金堆叠界面分离；

3）硅基载体损坏。

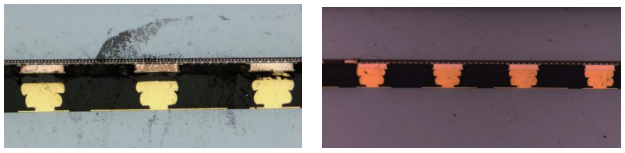
根据产品的失效现象，金－金堆叠界面分离的可能性较大。

为确认失效位置，对样品进行制样研磨，观测金－金堆叠界面形貌。根据产品失效现象进行凸点的精确定位，确认的研磨位置如图2所示：



> 图2样品研磨位置

如图2所示为研磨位置，研磨性能异常样品的同时采用性能合格样品进行对比。研磨结果如图3所示：



a）异常样品功能点剖面　　b）性能正常样品剖面

> 图3样品研磨结果

如图3可见，性能异常样品中，功能点处金－金堆叠界面出现了分层，性能正常样品金－金堆叠界面完好无损。可见，造成此次产品失效的原因为金－金堆叠界面出现分层。

三、失效原因分析

为根除金－金堆叠界面开裂的情况，进一步对其原因进行分析。

由图3界面可见：金－金堆叠界面开裂的同时，其界面加固作用的底部填充胶与芯片界面也出现了分层。可见芯片堆叠界面存在应力，且底部填充胶的粘接强度无法平衡此应力。造成此种情况的原因包括如下几点：

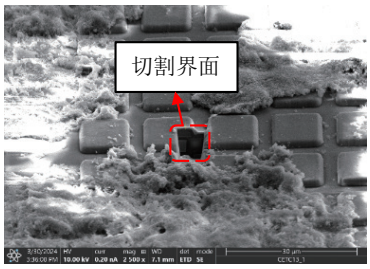
1）底填界面异常：产品底部填充界面异常，如界面存在沾污则会影响底部填充胶的黏接强度；

2）产品自身结构问题：产品结构设计不合理，自身存在应力集中的风险；

3）使用环境因素：产品后续装配使用过程存在外部应力，应力值已超过底部填充胶的承受能力。

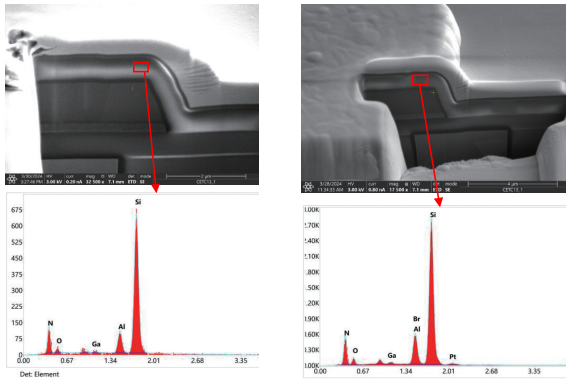
（一）底填界面分析

底部填充胶本身强度较高，正常情况其可起到加强堆叠界面强度的功能。为确认失效样品底部填充界面是否存在异常，对失效芯片样品界面进行FIB形貌观测，采用库存正常芯片作为对比组。样品的FIB切割位置如图4所示：



> 图4芯片样品表面FIB图像

图4为将多功能芯片从硅基载体剥离，在FIB设备下的成像，剥离的芯片表面留存有部分残胶。芯片分层位置中部分为胶体本身断裂，部分为胶体与芯片表层分离。进一步观测胶体与芯片分离界面，对芯片表层切割位置进行能谱标定，能谱结果如图5所示：



a）异常芯片剖面形貌及表层成份　　b）库存正常芯片剖面形貌及表层成份

> 图5芯片样品FIB成份结果

由图5可见，拆分下的芯片与库存正常芯片表层形貌基本相同，成份也无明显区别，表层物质主要为氮化硅，氮化硅起保护芯片的作用，此结构与芯片厂家所描述的情况一致[6]。芯片切割界面未见异常物质，由此可排除底部填充界面异常的情况。

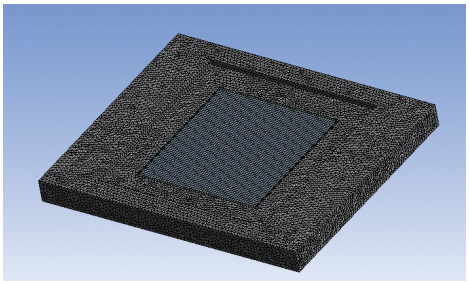
（二）产品结构仿真

产品在后续装配中，会经历热回流工艺过程，同时环境试验也会涉及温度的变化。产品结构间不同材质在温变过程会存在一定的热应力。如底部填充胶与硅之间热膨胀系数差异较大，温度变化过程可能会存在底部填充胶受热将芯片顶起的情况，即产品本身存在热应力集中的风险。为验证此项，对产品建立有限元仿真模型，分析在有底部填充胶以及无底部填充胶的情况下金凸点位置应力的大小。所用到的有限元参数如表1所示：

表1有限元仿真材料参数

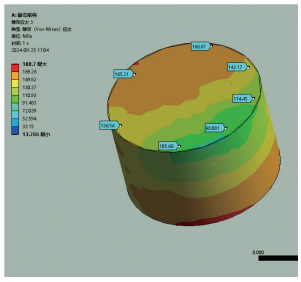
材料	热胀系数（ppm/℃）	屈服强度（MPa）	杨氏模量（GPa）	泊松比（λ）
Si	2.8	–	128	0.28
GaAs	6.4	–	83	0.31
Au	14.4	184	77	0.44
底填胶	21.4	290	56	
PCB	18.5	–	85	0.36

所建立的有限元仿真模型如图6所示：

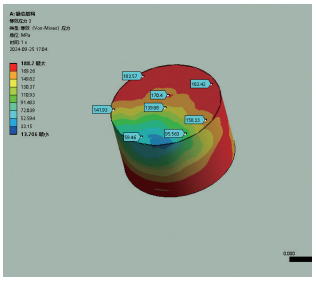


> 图6产品本体有限元仿真模型

为了节省计算资源和加快计算速度，对模型进行必要的合理的简化，计算使用的有限元模型总节点数约为64万；总单元数约为31万，温度加载按回流焊峰值温度设置为210℃，仿真结果如图7所示。



a）有底填胶金凸点应力



b）无底填胶金凸点应力

> 图7芯片同位置金凸点应力仿真

由图7可见，无底部填充胶情况下金凸点的最大应力为183MPa，有底部填充胶情况下金凸点最大应力为165MPa。有底部填充胶加固情况下金凸点最大应力值明显低于无底部填充加固的情况。底部填充胶起着加固作用，并未存在将芯片顶开的情况，可见产品自身结构不存在问题。

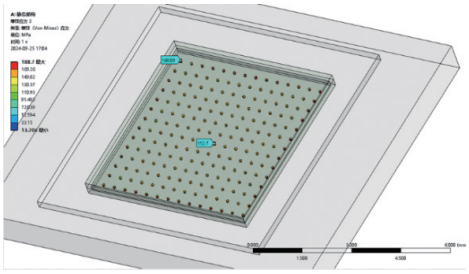
（三）产品使用环境分析

产品在后续装配使用过程中，不合理的整机结构可能会致使某些元器件应力集中而失效。本产品为通过BGA焊料球装入组件PCB上，装配完毕后即存在失效的情况。

产品装配后失效主要可能为以下两点：

1）PCB材料与硅材料热失配：产品在回流焊过程，随温度升高，焊料未熔以及熔融后的状态均不会与PCB基板产生应力。降温过程中温度低于焊料熔点后焊料凝固，再继续降温时产品与PCB基板会因热膨胀系数的差异导致不同的形变，进而产生拉脱应力。

建立产品与PCB基板的仿真模型，温度加载为焊料凝固时熔点温度：183℃，材料参数按表1进行，应力仿真结果如图8所示：



> 图8产品装入PCB后的仿真结果

如图8所示，最大应力分布在边缘位置的金凸点，为168MPa，低于金材料的屈服强度。由此可排除产品与PCB基板热膨胀系数过大导致的失效。

2）PCB基板翘曲：PCB基板在经历温度变化后，可能会受升降温的影响发生弯曲变形。已经发生弯曲变形后的PCB基板后续在装入产品金属盒体时会受压恢复平整的状态，此时PCB基板会对硅基产品产生拉力，进一步硅基载体会传递拉力至芯片金凸点位置引起失效。

取PCB板过炉温，炉温峰值为210℃，印制板过炉温前无明显翘曲，过炉温后翘曲1.5mm，印制板对角10mm，翘曲率1.5%，超过了最大翘曲率0.75%的要求。由此可见，PCB板翘曲导致器件失效的概率较大。

产品装入组件的顺序为先将产品装入PCB，再将PCB装入组件。为减少PCB变形对产品结构的影响，先将PCB装入组件进行固定，后将产品装入组件。优化工序后的实验结果为：

表2优化工序后装配结果

组序	装配方式	装配数量	失效数量
1	先装产品与PCB	100	18
2	先装PCB与盒体	100	0

由表2可见，更改工艺顺序后的产品失效数量明显低于原工艺状态产品失效数量。由此可见降低了PCB板变形可解决产品金凸点开裂的情况。

四、结论

本文通过对典型3D封装器件进行了失效分析可得出以下结论：

1）对于复杂3D封装器件，设计阶段应充分考虑到其后续可能的应用场景，应规定其适用的装配方式和应用环境；

2）不同的装配顺序可能会导致不同的装配结果，对于复杂器件的工艺路线的制定，应做充分的考虑和仿真设计。

参考文献

[1]王豪杰，崔碧峰，王启东等. 射频系统2.5D/3D封装结构的研究进展［J］. 电子与封装，2021,21(09):36-46.

[2]Zihsong Hu;Chengshiun Liou.Micro-Cantilever Array with electroplating tin bumps for flip-chip bonding technology［C］. IEEE Transactions on components,packaging and manufacturing technology,2023,2040~2045.

[3]罗道军，倪毅强，何亮，等. 电子元器件失效分析的过去、现在和未来［J］. 电子产品可靠性与环境试验，2021,39(S2):8-15.

[4]杨领叶，史燕萍等. 先进集成电路超大测试结构的短路失效定位方法［J］. 半导体技术，2022，47（5）,416~420.

[5]金鑫. 倒装芯片封装中底部填充技术的分析与优化［D］. 东南大学，2020.

[6]于姝莉. 钝化层质量问题分析研究［J］. 微处理机，2020,41(05):10-13.

人工智能技术在电力线损治理中的创新应用与效果评估

熊志远[1]，邬洪飞[2]，陈海胜[3]，俞杰杰[4]
1.国网江西省南昌市青山湖区供电公司，江西 南昌 330000
2.国网江西省电力公司乐平市供电分公司，江西 南昌 330000
3.国网江西省鹰潭市余江区供电公司，江西 鹰潭 335200
4.国网江西省上饶市广丰区供电公司，江西 上饶 334000

摘　　要： 人工智能技术在电力线损治理中的应用正变得越来越普遍。本文首先概述了人工智能在电力系统中的应用，接着详细讨论了其在电力线损治理中的具体应用。通过对实际应用效果的评估，本文分析了当前面临的挑战并提出了解决方案，同时展望了未来的发展趋势和建议。研究表明，人工智能技术在电力线损治理中具有显著的创新性和有效性，对电力行业的优化和管理具有重要意义。[1]

关 键 词： 人工智能；电力线损；治理；创新应用；效果评估

Innovative Application and Effect Evaluation of Artificial Intelligence Technology in Power Line Loss Management

Xiong Zhiyuan [1], Wu Hongfei [2], Chen Haisheng [3], Yu Jiejie [4]
1. State Grid Jiangxi Nanchang Qingshan Lake District Power Supply Company, Nanchang, Jiangxi 330000
2. State Grid Jiangxi Electric Power Company Leping Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi 330000
3. State Grid Yujiang District Power Supply Company of Yingtan, Yingtan, Jiangxi 335200
4. State Grid Shangrao City Guangfeng District Power Supply Company, Shangrao, Jiangxi 334000

Abstract: The application of artificial intelligence (AI) technology in power line loss governance is becoming increasingly prevalent. This paper first provides an overview of AI applications in power systems, followed by a detailed discussion on its specific applications in power line loss governance. Through evaluating the effectiveness of these applications, we analyze the current challenges and propose solutions, while also exploring future development trends and suggestions. Our research shows that AI technology has significant innovation and effectiveness in power line loss governance, which is crucial for optimizing and managing the power industry[1].

Keywords: artificial intelligence; power line loss; governance; innovative application; effect evaluation

引言

电力线损是指电能在传输和配送过程中因各种原因所造成的损耗，包括技术性损失和非技术性损失。传统的线损治理方法主要依赖于物理设备、线路设计以及简单的统计分析手段，这些方法存在一定的局限性。例如，传统方法难以实时监控和预测线损，无法全面分析影响线损的多种复杂因素，且通常对突发故障响应不及时。此外，随着电网规模的扩大和复杂度的增加，这些方法的效用和性价比逐渐下降。[2]

一、人工智能技术在电力系统中的应用概述

（一）人工智能技术的基本概念与原理

人工智能是一门涉及计算机科学、数学和认知科学的综合学科，其核心目标是让机器能够模拟人类智能，实现感知、学习、推理、决策等功能。

（二）人工智能在电力系统中的应用现状

1.智能电网

智能电网是现代电力系统的发展方向，通过集成先进的传感技术、通信技术和AI算法，智能电网可以实现自我监控、自我修复和优化控制。例如，智能传感器网络实时监测电力系统的运行状态，AI算法通过分析海量数据，提供故障预警、负荷预测和反应控制。[3]

2.预测与优化控制

预测与优化是电力系统管理的重要环节。AI技术可以用于负荷预测、发电预测和能耗预测，通过分析历史数据及天气、经济等外部因素，准确预估未来的电力需求和供给情况，优化发电计划、调度策略和电价模型，从而提升系统效率和经济效益。

3.故障检测与诊断

AI技术在电力系统故障检测和诊断中发挥了重要作用。通过机器学习和深度学习算法，系统可以快速识别设备异常和故障，

作者简介：姓名：熊志远（1981.04-），男，汉族，江西南昌人，本科，高级技师，工程师，研究方向：线损治理。身份证号：360111198104190914。

进行故障定位和原因分析，提高电力系统的可靠性和稳定性。比如，通过AI模型分析电流、电压等传感数据，及时发现和处理线损异常情况，减少损耗。

总结来说，人工智能技术在电力系统中已经展现出广泛的应用前景和显著效果，从智能电网的自我监控及优化，到预测与优化控制的精准度提升，再到故障检测与诊断的效率提高，这些应用都显著提升了电网的智能化水平，推动了电力行业的现代化进程。[4]

二、人工智能在线路损耗治理中的应用

（一）数据采集与预处理

在电力系统中，数据的收集和预处理是应用人工智能技术的基础。传感技术和数据采集设备在这一过程中起到了关键作用。智能传感器能够实时监测线路上的各种参数，如电压、电流、功率等。这些数据通过物联网技术（IoT）传输至数据中心，支持进一步的分析和处理。

为了保证收集数据的质量和准确性，数据清理和组织非常重要。数据清理涉及过滤掉噪声和错误数据，使数据集更加准确和可靠。数据组织则包括对数据的归类和标记，方便后续的建模和分析。[5]

（二）线路损耗预测模型

人工智能技术在线路损耗预测中扮演着至关重要的角色。常用的预测模型包括机器学习模型和深度学习模型。

1.机器学习模型：

回归模型：用于预测线路损耗的数量值，基于历史数据和当前条件进行分析。

决策树：通过建立决策树模型，可以识别不同条件下线路损耗的关键因素，提供准确的损耗预测。

神经网络：通过模拟人脑神经元的工作方式，神经网络能够处理非线性关系，提供高精度的预测结果。

2.深度学习模型：

深度神经网络（DNN）：DNN通过多层神经元的连接，可以处理复杂的非线性映射关系，适用于大规模数据的损耗预测。

卷积神经网络（CNN）：虽然CNN主要用于图像处理，但其在电力系统中的应用也逐渐增加，特别是用于检测数据中的时空特征，从而提高线路损耗预测的准确性。[5]

（三）线路损耗分析与诊断

人工智能技术不仅可以预测线路损耗，还能够进行深入的分析与诊断，以查明损耗的来源和性质。

1.异常检测：通过建立正常状态的模型，当出现异常数据时，可以及时检测到异常，提高电力系统的稳定性和可靠性。

2.来源分析：利用AI技术分析损耗的具体来源，如线路老化、设备故障等，从而采取有针对性的措施进行治理。

3.故障定位：通过数据分析和建模，AI可以快速定位线路中的故障点，减少故障排查时间和维修成本。

（四）优化控制与决策支持

人工智能在优化控制和决策支持方面也有广泛的应用，进一步提升线路损耗治理的效率。

1.线路损耗最小化调度优化：通过智能调度和优化算法，AI可以在保证电网稳定的前提下，最大限度地减少线路损耗。

2.实时决策支持系统：AI系统实时监测电力系统的运行状态，提供及时的决策支持，如调整负荷分配、调节电压和无功功率等，以应对各种突发状况和优化运行效率。

总之，人工智能技术在电力线路损耗治理中有多方面的应用，这些应用不仅提高了预测的准确性和及时性，还优化了整体控制策略，为电网的稳定运行提供了坚实的保障。[6]

三、人工智能应用效果评估

（一）评估指标与方法

在评估人工智能技术在电力线损治理中的应用效果时，常用的评估指标包括线损率变化、经济效益分析以及系统稳定性和可靠性等。

1. 线损率变化

线损率是衡量电力系统效率的重要指标之一。通过引入人工智能技术，可以精确预测和控制电力传输中的损耗，从而大幅降低线损率。具体评估方法包括对比AI应用前后的线损率数据变化，通过理论计算和实际测量数据相结合来验证AI技术的有效性。

2. 经济效益分析

经济效益分析主要通过计算人工智能应用所带来的节能效果以及运营成本的降低来进行评估。具体方法包括成本－收益分析，其中考虑到设备维护费用、人工费用减少及能源效率提升所带来的整体经济效益。通过对比AI应用前后的经济数据，来量化AI技术对电力线损治理带来的经济价值。

3. 系统稳定性和可靠性

系统的稳定性和可靠性是电力系统运行的基础。应用人工智能技术后，通过监控和分析电力系统运行数据，可以及时识别并预防潜在故障，提高系统的稳定性和可靠性。评估方法包括统计系统故障发生率、系统停电时间及AI技术在故障预测中的准确率等指标。[7]

（二）真实案例分析

为了更全面地评估人工智能技术在电力线损治理中的应用效果，我们选择了一些典型的电网公司应用实例进行分析。这些案例通过比较AI技术应用前后的各项数据指标，展示了其实际效果。

1. 案例一：某电网公司A的应用

在该公司，部署了基于AI的电力线损监测和管理系统。应用前，线损率为8%；应用后，下降至5%。通过对经济效益分析发现，每年节省的电力费用约为300万元。系统故障率则从每年15次减少至7次，显著提高了系统的稳定性和可靠性。

2. 案例二：某电网公司B的应用

另一电网公司B引入了AI驱动的电力负荷预测与优化调度系统，线损率从7%下降到4.5%。经济效益方面，每年节省的费用达到200万元。系统故障率从每年20次降至8次，有效提高了电网的稳定性。

（三）优势与劣势分析

1. 优势

·高准确率：人工智能技术能够基于大数据分析和机器学习算法，提供比传统方法更高的精确度，减少人为误差。

·实时性能：AI系统可以实时监控和调整电网运行状态，及时应对突发情况，提高系统响应速度和灵活性。

·预测能力：AI具备强大的预测能力，可以预见未来的电力需求和可能的线损情况，提前进行调控。

2. 劣势

·高数据要求：AI系统对于数据的质量和数量要求较高，需要庞大的历史数据和实时数据作为支持，数据获取和处理成本较高。

·实施成本高：引入AI技术需要投入大量的资金进行设备升级、系统开发以及专业人员培训，这对于一些中小型电网公司来说可能会带来较大的经济压力。

通过以上评估和分析，我们能够清晰地看到人工智能技术在电力线损治理中具备显著的优势，但也存在一定的挑战。综合考虑线损率变化、经济效益及系统稳定性等因素，AI技术的应用前景广阔，但也需针对实际情况进行合理规划和投入。

四、挑战与解决方案

（一）数据问题

1.数据隐私和安全

在电力线损治理中应用人工智能技术时，数据隐私和安全是首要关切之一。电力系统中涉及大量敏感数据，包括用户用电行为、设备运行状态等，这些数据一旦泄露，可能会引发严重的隐私问题。因此，如何在数据收集、存储和传输过程中保护信息安全成为一个重要挑战。解决这一问题的方法包括数据加密、访问控制和数据防泄漏技术。此外，还应制定严格的数据使用规范和隐私保护政策，确保数据使用符合相关法律法规的要求。[8]

2.数据质量和完整性

人工智能算法依赖于高质量的数据进行训练和推理，数据质量和完整性问题直接影响模型的性能。在电力线损治理中，数据往往来源复杂，存在数据噪声、不完整性等问题。为解决数据质量问题，可以采用数据清洗和预处理技术，通过异常检测、数据修正等方法提高数据的一致性和完整性。同时，构建完善的数据采集和管理机制，确保数据准备的规范性和标准化，也有助于提升数据质量。

（二）技术问题

1.模型的泛化能力

在实际应用中，AI模型在训练数据集上表现优异并不意味着其在实际场景中同样有良好的表现，模型的泛化能力至关重要。这一问题常常来自训练数据集的局限性和多变的实际应用环境。解决方法之一是通过引入更多样化的训练数据来增强模型的泛化能力。同时，使用迁移学习、集成学习等技术，能够提升模型在不同场景下的适应性和表现。

2.计算资源和实时性要求

电力线损治理常常需要实时监控和处理，这对计算资源提出了较高要求。特别是大规模电网中，数据量巨大，计算负载沉重。对此，可以采用优化的算法和分布式计算架构，如云计算或边缘计算，以提升处理效率和实时性。此外，硬件层面的改进，如使用高性能计算设备和并行处理器，也能够有效缓解计算资源的压力。[9]

（三）经济和社会问题

1.投资成本和回报分析

引入人工智能技术进行电力线损治理需要较高的初始投资，包括硬件设备、软件开发和系统集成等方面的费用。然而，许多电力公司可能对投资回报存在疑虑。解决这一问题需要进行详细的成本效益分析，评估AI技术在降低线损、提高供电效率方面的具体价值。同时，通过试点项目和示范应用，展示AI技术带来的经济效益和长期收益，增强企业的投资信心。

2.人才需求和培训

人工智能技术的应用需要专业的知识和技能，然而，目前电力行业普遍存在AI技术人才短缺的问题。应对这一挑战的策略之一是加强产学研合作，电力企业可以与高校和科研机构合作培养AI技术人才。此外，通过在职培训和继续教育，提高现有员工的技术水平也非常重要。同时，构建良好的职业发展路径和激励机制，吸引和留住AI领域的优秀人才，从而保障技术应用的可持续性。

总之，尽管在电力线损治理中应用人工智能技术面临诸多挑战，但通过采取合理的解决方案，这些问题是可以克服的。未来，随着技术的不断进步和应用经验的积累，人工智能将为电力行业带来更大的变革和发展。[10]

五、结论

人工智能技术在电力线损治理中的应用极大地提升了治理效率和精准度。通过对大量数据的分析和处理，AI技术能够快速识别出电力系统中的异常和潜在问题，有效减少了线损。本文分析了不同的AI技术，如机器学习、深度学习和数据挖掘技术在电力线损治理中的具体应用及其效果评估，结果表明，AI技术不仅显著降低了电力损耗，还提高了电网的整体运营效率和稳定性。

参考文献

[1]麦晓明. 配网线损的成因及对策分析［J］. 山东工业技术，2017,(17):189.

[2]马绍杰. 台区同期线损异常数据治理措施［J］. 现代工业经济和信息化，2022,12(11):247-248.

[3]张华，张望妮，肖凤斌. 基于分布式实时数据库的线损一体化监测方法［J］. 微型电脑应用，2023,39(07):169-172.

[4]王武英，宋道辉，沈志. “党建+线损治理”实现提质增效［J］. 农村电工，2021,29(02):5.

[5]李婧. 供电所管理线损的现状及解决措施探讨［J］. 数字通信世界，2021,(09):114-116.

[6]许杨. 用电检查工作中降低线损的措施应用探讨［J］. 科技风，2019,(36):177.

[7]冯彩英. 线损计算分析在降低线损中的作用［J］. 中小企业管理与科技(中旬刊),2020,(02):152-153.

[8]刘建. 浅议供电所管理线损的现状及解决措施［J］. 装备维修技术，2020,(02):319.

[9]张小辉. 电力营销中农电管理线损问题研究［J］. 南方农机，2016,47(12):132-133.

[10]李莉. 关于营配调贯通的线损实用化分析及其应用探讨［J］. 低碳世界，2016,(33):38-39.

配电网线损管理关键技术研究及案例分析

张忠静[1]，蔡永翔[2]，党剑亮[3]
1贵州电网公司，贵州 贵阳 550001
2 贵州电网公司电力科学研究院，贵州 贵阳 550001
3 南方电网超高压输电公司海口分局，海南 海口 570100

摘　　要： 本文全面剖析了配电网线损的理论根基、分类及影响因素，并详细阐述了线损的理论计算方法与技术降损措施。同时，探讨了配网线损管理模式的创新性发展，重点介绍了线损管理的关键技术，如数据分析挖掘、异常诊断处理、预测优化以及线损管理系统的构建。通过具体案例分析，提炼出不同地区高效线损管理的先进模式。文章最后展望了配电网线损管理技术的创新路径、发展趋势以及所面临的挑战，并提出了相应的政策建议和措施。

关 键 词： 配电网；线损；关键技术；数据分析

Research on Key Technologies and Case Analysis of Line Loss Management in Distribution Network

Zhang Zhongjing[1], Cai Yongxiang[2], Dang Jianliang[3]
1. Guizhou Power Grid Corporation, Guiyang, Guizhou 550001
2. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Corporation, Guiyang, Guizhou 550001
3. Haikou Branch of China Southern Power Grid Extra-High Voltage Transmission Company, Haikou, Hainan 570100

Abstract: This paper comprehensively analyzes the theoretical foundation, classification, and influencing factors of line losses in distribution networks, and elaborates on the theoretical calculation methods and technical loss reduction measures of line losses. At the same time, it explores the innovative development of distribution network line loss management models, focusing on key technologies such as data analysis and mining, abnormal diagnosis and processing, prediction optimization, and the construction of line loss management systems. Through specific case studies, advanced models of efficient line loss management in different regions are extracted. Finally, the paper looks ahead to the innovation path, development trends, and challenges faced by distribution network line loss management technology, and proposes corresponding policy suggestions and measures.

Keywords: distribution network; line loss; key technology; data analysis

引言

随着电力系统规模的不断扩大和负荷需求的日益增长，配电网线损管理成为电力企业提高经济效益、降低能源消耗、实现可持续发展的重要课题。配电网线损是指电力通过电网10KV以下线路及台区变压器输送到终端用户过程中由于电阻、电感等因素造成的能量损耗，主要包括技术线损和管理线损。技术线损是由电网自身特性决定的，而管理线损则主要与电网运行管理、维护水平、设备状态等因素相关。降低配电网线损不仅可以提高电力企业的经济效益、管理水平，提高竞争力，还可以减少能源消耗，降低碳排放，对实现碳达峰、碳中和目标具有重要意义。

传统的配电网线损管理模式主要依靠人工经验进行管理，存在效率低、数据不准确、难以发现潜在问题等缺点。随着大数据、云计算、人工智能等数字技术的快速发展，为配电网线损管理提供了新的思路和方法。通过数字化技术可以实现配电网线损数据的实时监测、分析、预测和优化，提高线损管理的效率和水平。同时，通过人工智能算法可以对线损异常进行诊断和定位，及时发现和解决潜在问题，提高线损管理的精准性和有效性。

一、配电网线损理论基础

配电网线损是电力系统运行过程中不可避免的电能损耗，指电能通过电网10KV以下线路、台区输送到用户终端过程中，由于线路电阻、电抗、绝缘损耗以及变压器损耗等原因，导致电能转化为热能而损失的现象。配电网线损不仅影响电力企业的经济效益，也关系着能源的节约和环境保护。

（一）配电网线损分类与影响因素

线损率是一项重要的综合性技术经济指标。目前我国配电网的建设相对主网更为落后，致使配电网的线损率整体偏高。对

配电网的线损特征进行分析，揭示线损的变化规律及其影响因素[1]。作为电力系统运行中不可避免的现象，其产生根源可归纳为技术线损与管理线损两大类。技术线损是电力系统中不可避免的现象，它主要由电力设备的物理属性决定，包括线路的电阻、电抗以及变压器的损耗等。这些因素构成了电力传输过程的基本部分，尽管它们在系统中扮演着关键角色，但依然是电力系统优化工作中需着力降低的重要环节。管理线损是由于企业管理不善和设备运维不足所导致的问题，涵盖了抄表误差、计量装置偏差、窃电等环节。这些因素是影响电力系统效率的突出问题，需要通过精准的管理措施进行纠正和预防。在配电网线损的影响因素中，线路长度、截面积、材质、温度、负荷电流、功率因数、变压器容量、负载率以及管理水平等因素相互作用，构成了电网运行的复杂局面[2]。线路的延长和截面积的减小、材质的不同、温度的变化、负荷的波动、功率因数的降低、变压器容量与负载率的高低差异，以及管理水平的参差不齐，都是决定电能损耗的关键。

（二）线损理论计算方法

技术线损的计算，依赖于精确的公式推导，涵盖了导线电阻损耗的计算、变压器损耗的计算等多个方面。这些计算方法基于电力系统的物理特性和运行参数，通过严密的数学模型，实现对电能损耗的定量分析。与此同时，管理线损的估算则侧重于统计分析手段，如比例估算法、统计分析法等，这些方法通过对历史数据的深入挖掘和趋势分析，为管理层面的线损控制提供数据支持。这两种计算方法相辅相成，共同构成了线损理论计算的整体框架，为电力系统的节能降耗提供了科学依据。

（三）线损技术降损措施

在追求配电网运行的高效与精益过程中，降低线损是持续努力的目标。技术措施方面，采取以下策略：优化线路结构，减少传输路径长度，增加导线截面积，采用低电阻率材料，以降低电阻引起的能量损耗[3]；提升功率因数，通过安装无功补偿装置和合理分配无功电源，提高电能利用效率；选用高效率节能变压器，并优化变压器的负载率，减少变压器能耗；此外，加强设备运维管理，定期对设备进行检查和维护，及时处理设备缺陷，确保设备运行在最佳状态。

在管理层面，亦全力以赴。加强抄核收管理，提升抄表数据的准确性，确保核收流程的规范性，严密防范窃电行为，保障电量计量的公正性与无误性。优化计量装置，采用高精度计量设备，并定期执行校验程序，以维护计量数据的精确性。此外，加强数据分析工作，定期深入分析线损数据，精确诊断线损原因，并据此制定有效的降损措施。

二、配电网线损关键技术研究

配电网线损管理是电力企业提质增效的重要环节，也是实现“碳达峰、碳中和”目标的关键。随着科技的不断进步，数据分析和挖掘、异常诊断与处理、预测与优化等技术为线损管理提供了新的思路和方法，推动着线损管理向精细化、智能化方向发展。

（一）线损数据分析与挖掘

线损数据分析与挖掘是线损管理的关键环节，其通过对大规模数据集的深度分析，揭示了线损发生的深层次规律及其主要影响因素，为管理层提供了决策的数据支撑。利用先进的大数据分析技术，可以对历史线损数据进行综合且详尽的统计分析，有效识别线损异常的线路与台区，深入探究线损的具体成因，并据此制定针对性的治理策略。

例如，通过对用户用电行为的精细分析，不仅能洞察潜在的窃电行为，还能采取精确的打击措施，有效防止电能的非正常损失。同时，对电力设备运行数据的深入挖掘，有助于识别设备的老化迹象和潜在故障，确保及时维护与更换，从而减少因设备问题引起的线损[4]。此外，线损数据分析对于电网运行结构的优化和供电效率的提升也至关重要。

（二）线损异常诊断与处理

线损异常的诊断与处理是线损管理流程中的关键环节。该过程涉及对线损异常现象的深度分析，旨在精确识别线损异常的根本原因，并实施针对性的干预措施，以期显著降低线损率。借助人工智能技术的进步，能够构建出高效的线损异常诊断模型，实现线损异常的自动识别与精确诊断，并根据模型的输出提出切实有效的处理建议。

具体而言，采用机器学习算法，可以开发出基于数据驱动的线损异常诊断模型。该模型具备对线损数据进行智能分类的能力，能够将线损异常细分为技术线损、管理线损和窃电行为等多个类别[5]。基于分类结果，系统将自动制定相应的处理策略：针对技术线损，可能包括电网结构优化或设备升级的建议；针对管理线损，则可能提出管理制度改进或加强抄表监督的措施；对于窃电行为，则可提出增强监控和执法力度的建议。此外，人工智能技术的运用还实现了线损异常的实时监控与预警功能，确保线损异常一旦发生，系统能够迅速做出响应，及时通知管理人员，并启动诊断流程。

（三）线损预测与优化

线损异常的诊断与处理是线损管理中的核心环节。通过对线损异常的深入分析，能够揭示导致线损的种种原因，并据此采取针对性的措施，以有效降低线损率。借助人工智能技术的先进性，可以构建起一套线损异常诊断模型，实现线损异常的自动化识别与诊断，同时基于模型的诊断结果，给出相应的处理建议[6]。例如，通过开发基于机器学习算法的线损异常诊断模型，我们能够对线损异常情况进行精确分类，并依据分类结果实施恰当的处理措施。

（四）线损管理系统建设

线损管理系统，作为线损管理的关键平台，扮演着数据采集、存储、分析与展示的核心角色，为线损管理提供了强有力的技术支撑。该系统应当具备一系列先进功能，以实现对线损全方位、深层次的监控与管理。它能有效地采集线损相关的多元数据，包括用电量、设备运行状态、气象条件等，确保信息的全面性与实时性。同时，系统拥有强大的数据存储能力，不仅可以安全地保存这些数据，还能提供高效的数据查询与检索服务[7]。在

数据分析方面，系统能够对线损数据进行深入统计分析，并通过可视化手段直观展现，使管理者能够迅速把握关键信息。此外，系统具备智能的异常诊断能力，能够自动识别线损异常，并提供专业的处理建议。

三、配电网线损案例分析

配电网线损管理是一项涉及众多因素、极具挑战性的系统工程。它要求我们根据具体实际，综合运用多种策略，以实现线损率的有效降低。由于不同地区在经济发展、电网架构、用电需求等方面存在差异，线损管理的模式也呈现出多样化的特点。某地电网公司创新性地构建了“三位一体”的配电网线损管理新模式，显著提高了线损管理的效率和质量。这一模式以线损指标为核心控制目标，依托数字化创新技术，并以创新人才培育体系为支撑。通过优化工作流程、深化数字化技术应用、创新人才发展机制这三个维度，打造了一套系统化、数字化、智能化的线损管理体系。该模式主要包含以下几个方面的内容：

系统构建管控机制，线损管理标准化：建立管理线损指标体系，实现配网线损管理系统化；调查系统数据与现场一致性，提高数据可靠性；设计报表数据校核方法，为工作提质增效；规范线损操作流程，促使过程标准化。

数字化科技助力，提高新质生产力：研发数据异常监控模型，确保数据测量系统准确稳定；异常分析流程自动化，提高处置时效性；动态阈值自动调控；报表逻辑性自动核查；研发“增比进位”APP，助推基层管理水平透明化；基于电能量数据平台构建台区健康度模型。

采纳多维培养路径，全方位提升专业人才能力：颠覆传统模式，开展别具一格的线损技能竞赛活动；广泛汇聚典型案例，精心编纂并推出管理线损的“操作宝典”；精炼核心要义，吸取先进地区线损管理的高效做法。

四、配电网线损管理关键技术创新与发展趋势

在这一章节中，将探讨配电网线损管理技术的创新方向、发展趋势以及面临的挑战，并提出相应的政策与措施建议。这些内容旨在为未来的线损管理工作提供指导和参考。

（一）技术创新方向

在推进配电网线损管理技术的创新之路上，正在开发更尖端的智能监测系统，借助机器学习算法自动进行线损的诊断与预测，从而提升线损管理的自动化程度。同时，探索新型材料和技术，例如超导技术和高效变压器，这些创新有望大幅降低线路电阻，增强设备运行效率[8]。此外，网络优化技术亦在持续进化，利用高级优化算法动态调整电网结构，不仅有效降低线损，还提升了供电的稳定性，共同促进了线损管理技术的全面进步。

（二）发展趋势与挑战

线损管理技术的演变正逐步倾向于数字化、网络化和智能化的大趋势，特别是大数据、云计算与物联网技术的深度融合，为这一领域注入了前所未有的活力和机遇[9]。然而，技术的迅猛发展也带来了双重挑战：一方面，行业从业者需要不断更新知识，以跟上技术迭代的步伐；另一方面，如何高效地处理和分析庞大的数据集，以及如何确保数据的安全性和隐私保护，已经成为线损管理技术发展中不可忽视的关键问题。

（三）政策与措施建议

政府应出台政策，激励线损管理技术的研发与应用，并通过资金支持和税收优惠予以扶持。推广成熟技术和经验，通过建立示范区，提升行业整体技术水平。同时，加强电力行业人才队伍建设，尤其是数据分析与智能电网领域的专业人才，以支撑技术创新[10]。促进电力企业与科研、教育及科技企业的合作，共同促进技术进步。此外，完善法律法规和技术标准，保障线损管理技术的健康成长。

五、结束语

本文深入探讨了配电网线损管理的关键技术，并通过案例分析，验证了所提方法的有效性与实用性。通过对配电网线损管理的全方位剖析，我们认识到技术创新与精细化管理是降低线损、促进电力行业可持续发展的双轮驱动。展望未来，配电网线损管理仍需在理论研究和实际应用中不断深化，以期为构建更加高效、清洁、低碳的智能电网体系贡献智慧和力量。

参考文献

[1]庄远灿，朱建全，黄俊铭. 基于计量自动化系统的配电网线损特征及影响因素分析[J]. 南方能源建设，2017,4(03):63-68+74.DOI:10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.012.

[2]张莹. 基于大数据分析的配电网线损监测与预测模型研究[J]. 今日制造与升级，2023,(12):43-45.

[3]颜中秋. 光伏电源接入对配电网线损动态的影响研究[J]. 现代工业经济和信息化，2023,13(12):284-286.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.12.091.

[4]陈思龙. 低压配电网的线损与应对措施分析[J]. 电子技术，2023,52(12):94-95.

[5]谷建鹏. 低压配电网线损分析和降损措施研究[J]. 科学技术创新，2023,(26):210-213.

[6]戴文飞. 配电网线损及降损措施探讨认识实践[J]. 电气技术与经济，2023,(08):331-333.

[7]王珏. 分布式光伏并网对10 kV城市配电网线损的影响研究[J]. 现代工业经济和信息化，2023,13(09):308-310.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.09.103.

[8]李逸岚，韩钟瑶. 配电网线损原因及降损技术措施分析[J]. 科技创新与应用，2023,13(27):126-128+133.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.27.030.

[9]海家鸣，柴梦圆. 配电网线损管理现状及节能降耗技术分析[J]. 光源与照明，2023,(08):234-236.

[10]张莹. 基于线性规划的主动配电网线损影响因素分析[J]. 价值工程，2023,42(24):114-116.

基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略探索

顾平平

黔西电厂，贵州 毕节 551501

摘　　要： 随着信息技术的发展，大数据分析在锅炉燃烧优化中的应用逐渐受到关注。本文旨在探讨基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略，通过对锅炉运行数据的深入挖掘和分析，揭示锅炉燃烧过程中的关键影响因素，提出针对性的优化措施。首先，本文介绍了锅炉燃烧的基本原理和影响因素；其次，详细阐述了大数据分析在锅炉燃烧优化中的应用，包括数据预处理、特征提取、模型构建和优化算法等；最后，通过实际案例分析，验证了基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略的有效性和可行性。本研究对于提高锅炉燃烧效率、降低污染物排放和推动能源可持续发展具有重要意义。

关 键 词： 大数据分析；锅炉燃烧优化；数据挖掘

Exploration of boiler combustion optimization strategy based on big data analysis

Gu Pingping

Qianxi Power Plant, Bijie, Guizhou 551501

Abstract: With the development of information technology, the application of big data analysis in boiler combustion optimization has gradually attracted attention. This paper aims to explore the boiler combustion optimization strategy based on big data analysis, reveal the key influencing factors in the boiler combustion process through the deep mining and analysis of the boiler operation data, and put forward targeted optimization measures. Firstly, this paper introduces the basic principles and influencing factors of boiler combustion; secondly, it expounds the application of big data analysis in boiler combustion optimization, including data preprocessing, feature extraction, model building and optimization algorithm; finally, it verifies the effectiveness and feasibility of boiler combustion optimization strategy based on big data analysis. This study is of great significance for improving boiler combustion efficiency, reducing pollutant emission and promoting sustainable energy development.

Keywords: big data analysis; optimization of boiler combustion; data mining

锅炉作为能源转换的关键设备，在工业生产中扮演着重要角色。然而，传统锅炉燃烧过程存在能耗高、排放污染大等问题，严重影响了能源利用效率和环境保护。随着大数据技术的快速发展，利用大数据分析技术对锅炉燃烧过程进行优化成为可能。本文旨在探讨基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略，为锅炉燃烧优化提供新的思路和方法。

一、锅炉燃烧过程及影响因素分析

锅炉，作为能量转换的关键设备，其核心功能在于通过燃料的燃烧过程，高效地将水转化为蒸汽或热水，进而为各种工业生产和日常生活提供所需的热能或动力[1]。这一过程中，涉及众多复杂且相互关联的参数与变量，它们共同作用于锅炉的燃烧效率和排放性能。首先，燃料种类是决定锅炉燃烧特性的基础因素。不同种类的燃料，如煤、油、天然气等，其热值、燃烧速度、灰分含量等特性各异，直接影响了锅炉的燃烧效率和排放物的种类与数量。因此，在选择燃料时，需充分考虑其燃烧特性与锅炉设计的匹配度，以最大化燃烧效率和降低排放。燃烧方式同样对锅炉性能有着至关重要的影响。层燃、悬浮燃和流化床燃等不同的燃烧方式，各有其独特的燃烧效率和排放特性。层燃方式适用于固体燃料，燃烧稳定但效率相对较低；悬浮燃则适用于粉状燃料，燃烧效率高但排放控制较为复杂；流化床燃则结合了前两者的优点，既保证了燃烧效率，又有利于污染物的控制。风量是影响锅炉燃烧效率和排放性能的另一关键因素。适量的风量可以确保燃料与空气充分混合，促进燃料的完全燃烧，从而减少不完全燃烧损失和污染物排放。然而，风量过大或过小都会对燃烧过程产生不利影响，因此，精确控制风量是实现高效燃烧和环保排放的关键。温度与压力也是锅炉燃烧过程中不可忽视的因素。高温可以促进燃料的充分燃烧，但过高的温度可能导致锅炉受热面的结焦和腐蚀，影响锅炉的安全运行。而合理的压力则有助于保持燃烧的稳定性和高效性，确保锅炉在最佳状态下运行。

作者简介：顾平平（1993–），男，汉族，贵州省清镇市人，学历：本科，助理工程师，研究方向：锅炉运行。

二、大数据分析在锅炉燃烧优化中的应用

（一）数据预处理

锅炉运行数据具有海量、高维、异构等特点，这些特性直接影响了后续数据分析的有效性和准确性[2]。因此，数据预处理成为大数据分析在锅炉燃烧优化中的首要任务。数据清洗是数据预处理的关键步骤。由于锅炉运行数据往往存在重复、缺失、异常等问题，需要通过算法识别并去除重复数据，填补缺失值，并修正异常值，以确保数据的准确性和一致性。这一步骤对于后续分析的准确性和可靠性至关重要。数据集成是将分散于不同系统、格式的数据进行整合的过程。在锅炉运行环境中，数据可能来自多个传感器、控制系统和日志记录，这些数据的格式和存储方式各不相同。通过数据集成，可以形成统一的数据视图，便于后续的数据分析和挖掘。数据变换旨在消除数据间的量纲差异，提高数据间的可比性。这包括数据规范化、标准化处理等，使得不同维度的数据能够在同一尺度上进行比较和分析。数据归约则是通过降维技术、聚类分析等手段，有效减少数据量，提升数据分析的效率和精度。在锅炉运行数据中，可能存在大量的冗余信息，通过数据归约可以去除这些信息，保留对燃烧过程有重要影响的特征变量。

（二）特征提取

特征提取是从复杂的锅炉运行数据中提炼出对燃烧过程有重要影响的特征变量的过程。这一步骤对于理解燃烧机制、优化燃烧参数至关重要。统计分析方法是特征提取的常用手段之一[3]。通过描述性分析、相关性分析等统计方法，可以揭示数据间的统计关系，识别出关键统计特征。这些特征可以反映锅炉燃烧过程中的各种物理和化学现象，为燃烧优化提供科学依据。信号处理技术则能够捕捉时间序列数据中的动态特征。频谱分析、小波分析等信号处理技术可以对锅炉运行数据进行频域和时域分析，揭示燃烧过程的周期性、突变性等动态特性。这些特性对于预测燃烧过程的变化趋势、优化燃烧参数具有重要意义。数据挖掘技术则能够发现数据中的潜在规律和模式。关联规则挖掘、聚类分析等数据挖掘方法可以揭示锅炉运行数据中的隐藏信息和关联关系，为燃烧优化提供新的视角和线索。例如，通过关联规则挖掘可以发现不同燃烧参数之间的关联关系，为燃烧参数的协同优化提供依据。

（三）模型构建

基于预处理后的高质量数据和特征提取结果，构建预测模型是实现锅炉燃烧优化的核心。预测模型能够根据历史数据对未来燃烧过程进行预测，为优化控制提供决策支持[4]。线性回归模型是预测模型中最简单的一种。它适用于简单线性关系的预测，虽然简单但易于理解和实施。在锅炉燃烧优化中，线性回归模型可以用于预测燃烧效率、排放浓度等关键指标，为燃烧参数的初步调整提供依据。神经网络模型则以其强大的非线性映射能力而著称。它能够处理复杂的非线性关系，特别适合锅炉燃烧这种高度复杂的系统。通过训练神经网络模型，可以实现对锅炉燃烧过程的精准预测和控制。例如，可以利用神经网络模型预测不同燃烧参数下的燃烧效率和排放浓度，为燃烧参数的优化提供科学依据。支持向量机模型在处理高维数据、小样本数据时表现出色。其分类和回归能力使得它在燃烧效率预测、排放预测等方面具有广泛应用。通过构建支持向量机模型，可以实现对锅炉燃烧过程的精准分类和预测，为燃烧参数的优化提供有力支持。

（四）优化算法

基于预测模型的结果，采用优化算法对锅炉燃烧过程进行精细调控是实现高效燃烧和低排放的关键。优化算法能够根据预测模型的结果和实际需求，对燃烧参数进行调整和优化[5]。遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的优化算法。它能够在复杂、多峰的优化空间中搜索全局最优解，适用于锅炉燃烧参数的全局优化。通过模拟遗传过程中的选择、交叉和变异等操作，遗传算法可以不断迭代优化燃烧参数，实现燃烧效率和排放浓度的最优平衡。粒子群算法则通过模拟群体智能来实现优化。它利用粒子间的信息共享和协作，快速收敛于最优解，特别适合连续优化问题。在锅炉燃烧优化中，粒子群算法可以用于搜索最优的燃烧参数组合，以实现燃烧效率和排放浓度的最优平衡[6]。差分进化算法则以其独特的差分变异机制而著称。它能够在解决多峰优化问题时表现出良好的局部搜索能力和全局搜索平衡。在锅炉燃烧优化中，差分进化算法可以用于搜索最优的燃烧参数组合，以应对燃烧过程中的复杂性和不确定性。

三、基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略

（一）燃烧参数优化

建立全面的数据采集系统，收集锅炉运行过程中的各类参数，包括但不限于燃料种类、燃烧方式、风量、温度、压力、排放物浓度等。这些数据应来自锅炉控制系统、环境监测系统、燃料分析系统等多个数据源，确保数据的全面性和准确性[7]。采集到的原始数据往往存在噪声、缺失值、异常值等问题，需要通过数据预处理技术，如数据清洗、数据集成、数据变换等，提高数据质量，为后续分析奠定基础。利用大数据分析技术，对预处理后的数据进行特征选择与提取，识别出对锅炉燃烧效率和排放性能有显著影响的特征变量。这一过程可能涉及统计分析、数据挖掘、机器学习等多种方法，如相关性分析、主成分分析、聚类分析等。基于提取的关键特征，构建锅炉燃烧参数的优化模型。这可以是通过机器学习算法，如支持向量机、神经网络、随机森林等，训练得到的预测模型，用于预测不同燃烧参数组合下的燃烧效率和排放性能。根据预测模型的输出结果，调整锅炉的燃烧参数，如燃料配比、风量调节、温度控制等，以实现燃烧效率和排放性能的最优化。同时，建立反馈机制，实时监测燃烧参数调整后的效果，不断优化模型参数，提高预测准确性。

（二）故障诊断与预警

收集锅炉运行过程中的故障数据，包括故障类型、故障发生时间、故障前后的运行参数等。这些数据对于理解锅炉故障模式、识别故障特征具有重要意义。利用大数据分析技术，提取故障特征，如时间序列数据的异常变化、参数间的关联异常等[8]。

通过机器学习算法，如决策树、朴素贝叶斯、支持向量机等，对故障进行分类，建立故障识别模型。基于故障识别模型，构建锅炉故障的预警系统。该系统能够实时监测锅炉运行参数，一旦发现异常，立即触发预警机制，提醒操作人员采取相应措施，避免故障的发生或扩大。当故障发生时，利用大数据分析技术，快速定位故障原因，提供故障诊断报告和修复建议。这有助于操作人员迅速排除故障，恢复锅炉的正常运行。通过不断的故障诊断与修复实践，积累故障处理经验，优化故障识别模型，提高预警系统的准确性和可靠性。同时，将故障处理过程中的知识和经验进行整理和分享，提升团队的整体故障处理能力。

（三）能效评估与改进

利用大数据分析技术深入挖掘锅炉能效特征，包括燃料热值、燃烧效率、热损失等关键指标，为能效评估提供科学依据。通过构建能效指数、能效比等能效评估模型，对锅炉的能效水平进行精准量化，明确能效提升的潜力和方向。基于能效评估结果，制定针对性的能效改进策略。这包括优化燃料配比，以充分利用燃料的热值；调整燃烧参数，如风量、温度等，以提高燃烧效率；以及改进锅炉结构，减少热损失，提升整体能效[9]。这些策略应紧密结合锅炉的实际运行状况，确保改进措施的可行性和有效性。实施能效改进策略后，需持续监测锅炉的能效变化，通过对比分析，评估改进策略的实际效果。根据评估结果，不断调整和优化能效策略，确保锅炉能效能够持续提升。此外，建立锅炉能效管理与优化平台，集成能效数据采集、分析、评估、改进等全链条功能，实现能效管理的智能化和高效化。平台应支持数据可视化，以直观展示能效变化；同时，应具备智能决策功能，为能效管理提供科学指导。

（四）排放性能优化

收集锅炉运行过程中的排放数据，包括氮氧化物、二氧化硫、颗粒物等污染物的排放浓度。这些数据是评估锅炉排放性能的关键。利用大数据分析技术，提取排放特征，如排放浓度变化趋势、排放物之间的关联性等。通过机器学习算法，对排放数据进行分类，识别不同排放模式下的特征。基于排放特征，构建锅炉排放性能的优化模型[10]。这可以是通过机器学习算法，如神经网络、支持向量回归等，训练得到的预测模型，用于预测不同燃烧参数组合下的排放性能。根据优化模型的输出结果，调整锅炉的燃烧参数，如燃料配比、风量调节、燃烧温度等，以降低污染物的排放浓度。同时，考虑采用先进的燃烧技术和污染控制技术，如低氮燃烧技术、烟气脱硫脱硝技术等，进一步提升锅炉的排放性能。实施排放性能优化策略后，实时监测锅炉的排放变化，评估优化效果。通过对比分析，不断调整和优化排放性能策略，确保锅炉排放性能的持续提升。同时，建立排放性能数据库，积累排放数据和分析结果，为未来的排放性能优化提供数据支持。

四、结论

本文聚焦于大数据分析技术在锅炉燃烧优化中的应用，通过构建精准的锅炉燃烧系统预测模型与高效的多目标优化模型，实现了对锅炉燃烧过程的深度优化。这一研究不仅显著提升了锅炉的热效率，还有效降低了 NOx 排放浓度，为锅炉的节能减排提供了有力的技术支撑。未来将继续深化基于大数据分析的锅炉燃烧优化策略研究，致力于进一步提升锅炉的燃烧效率和环保性能。通过不断的技术革新与实践探索，有信心推动锅炉行业向更加高效、环保的方向发展，为实现国家的节能减排目标和可持续发展战略贡献更大的力量。

参考文献

[1] 刘建平. 基于智能算法的火电厂锅炉燃烧优化技术探究［J］. 中国机械，2024,(07):64-67.

[2] 刘昌旭. 简析电厂锅炉燃烧运行优化策略［J］. 大众标准化，2024,(04):118-120.

[3] 王璐，孙雪，王以炜. 煤气锅炉燃烧控制技术的优化策略分析［J］. 电子技术，2024,53(01):280-281.

[4] 廖彭伟. 电站锅炉燃烧智能优化控制策略研究［J］. 科技风，2023,(24):7-9.

[5] 姚永良，黎乃斌. 660MW 四角切圆燃烧锅炉燃烧调整策略优化［J］. 电力安全技术，2022,24(10):67-68+71.

[6] 梁会朋，赵冠雄. 燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略研究［J］. 现代工业经济和信息化，2022,12(08):236-237+258.

[7] 蔡云峰. 燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略［J］. 科技创新与应用，2022,12(24):142-145.

[8] 杨磊. 燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略研究［J］. 技术与市场，2021,28(12):128-129.

[9] 武文龙，武志强. 电厂锅炉燃烧运行优化策略分析［J］. 中国金属通报，2021,(11):104-105.

[10] 李峥. 火力电厂锅炉燃烧运行优化策略［J］. 科技创新与应用，2021,11(23):129-131.

智能电网电力拖动控制技术研究与应用

武庭萱

天津工业大学，天津 300387

摘　　要： 智能电网技术正引领全球电力行业进入一个新时代，这一前沿技术将高精度传感器测量、前沿信息处理、高速通信技术、强大的计算机技术和先进的控制策略深度融合，与传统物理电网无缝对接，构建了一个前所未有的高效、高可靠、全方位安全、经济优化、环境友好的新型电网生态系统。电力拖动控制技术作为智能电网的核心支撑之一，通过精确调节电力设备的运行状态，显著提高了电力系统的整体稳定性和运行效率，为实现绿色能源转型和可持续发展的目标奠定了坚实基础。

关 键 词： 智能电网；电力拖动控制技术；应用实践；未来发展

Research and Application of Smart Grid Power Drag Control Technology

Wu Tingxuan

Tiangong University, Tianjin 300387

Abstract: Smart grid technology is leading the global power industry into a new era, the frontier technology will be high precision sensor measurement, frontier information processing, high-speed communication technology, powerful computer technology and advanced control strategy depth fusion, with the traditional physical power grid seamless docking, build an unprecedented efficient, high reliable, all-round security, economic optimization, environment friendly new grid ecosystem. As one of the core supports of the smart grid, the power dragging control technology has significantly improved the overall stability and operation efficiency of the power system by accurately adjusting the operation state of the power equipment, and laid a solid foundation for realizing the goal of green energy transformation and sustainable development.

Keywords: smart grid; power drag control technology; application practice; future development

引言

现阶段，现代社会的快速发展和能源需求的不断增加，智能电网作为新型电力系统的代表，其电力驱动控制技术的研究和应用显得尤为重要。随着我国电力行业多元化发展，对智能电网电力拖动控制技术研究高度重视，基于此，本文着重分析智能电网中电力拖动控制技术的关键原理、技术要点、实际应用及发展趋势，以期为智能电网技术的进一步发展提供参考。

一、智能电网中电力拖动控制技术的关键技术

（一）智能传感技术

智能传感技术不仅具有传统传感器的数据采集功能，还融入了智能数据处理和传输能力，比如使用高精度、高灵敏度的电流、电压传感器，可以实时监测拖动设备的电气参数，包括电流波动、电压稳定等，精度可以达到微安级、毫伏级，同时，通过集成温度、振动等非电传感器，可以全面监测拖动设备的机械状态，确保设备的安全运行。数据显示，与传统系统相比，采用智能传感技术的电力拖动控制系统可提前30%左右发现潜在故障，有效降低设备故障导致停电的风险。此外，智能传感技术还可以通过实时数据传输，为人工智能算法提供丰富的数据源，为进一步优化控制策略提供了可能，比如在风电场的应用中，智能传感器可以实时监测风机的速度、风速、风向等参数，结合大数据分析，准确预测风力变化，从而优化风机运行状态，提高发电效率。

（二）人工智能算法

通过引入机器学习、深度学习等先进算法，系统可以自动分析大量历史数据，识别运行模式，预测未来趋势，并据此制定最优控制策略，例如，在电机转速控制中，模糊控制算法和神经网络控制算法的结合可以实现电机转速的精确调节，降低能耗和振动噪声。人工智能算法可以通过对电机运行数据的不断学习和优化，不断提高控制精度和响应速度，据统计，采用人工智能算法的电传动控制系统的控制精度可以达到0.1%以内，响应时间可以缩短到毫秒级，这不仅提高了生产线的运行效率，还显著降低了能耗和设备维护成本[1]。

作者简介：武庭萱（2002.12-），男，汉族，河北省怀来县人，本科，研究方向：电气工程及其自动化。

（三）数据处理与分析技术

面对海量的实时数据，如何高效、准确地提取有价值的信息是提高系统性能的关键，为此，系统通常采用云计算、大数据等先进技术构建高性能数据处理平台，通过分布式计算、并行处理等手段，可以实现海量数据的快速处理和分析。同时，结合数据挖掘和机器学习技术，系统能够自动发现数据中的规律和异常，为决策提供有力支持，比如在电网负荷预测中，利用机器学习算法对历史负荷数据进行分析学习，可以建立准确的预测模型，实现对未来负荷的准确预测，这不仅有助于调度部门提前调整发电计划，保证供电稳定，还能有效降低储能成本，提高电网经济性。

二、电力拖动控制技术在智能电网中的应用实践

（一）提升电网运行效率

电力拖动控制技术在智能电网中的应用，就像一个精细的工匠，精心雕琢电网的每一个细节，从而实现运行效率的整体提升，该技术不仅着眼于设备的直接效率提升，更深入到电网的整体优化，通过数据驱动的智能决策实现资源的优化配置[2]。电力拖动控制技术通过高精度的传感器网络，实现了对电网中传动设备运行状态的全方位实时监控，这种监测不仅包括设备的电参数，如电流、电压、功率因数等，还包括机械参数，如振动、温度、速度等，从而构建设备运行的多维画像，这些数据为后续的智能分析提供了坚实的基础。然后，智能算法对这些海量数据进行深度挖掘和分析，利用机器学习、优化算法等先进技术，找出影响电网运行效率的关键因素和潜在瓶颈，比如，通过分析设备的历史运行数据，算法可以预测设备的维修周期，提前安排维修计划，避免设备突发故障造成的停机损失；同时，该算法可以根据电网实时负荷情况动态调整牵引设备的运行参数，如电机转速、负荷分配等，实现电网负荷的最优分配和能量的最大利用[3]。

（二）提高电网稳定性

在智能电网中，电力拖动控制技术通过实时监测、快速响应和智能调整，构建了全方位的电网稳定保障体系，通过实时监测传动设备的运行状态和电网参数，如电压、电流、频率等，保证电网的安全稳定运行。一旦检测到电压波动、电流过载等异常情况，系统立即启动预警机制，向运维人员发送报警信息，并自动采取调整设备参数、切断故障设备等初步保护措施，防止故障扩大。电力拖动控制技术还具有很强的故障预测和诊断能力，该技术通过智能算法对设备运行数据的深入分析，提前识别设备可能存在的隐患，并给出相应的预警信息，这使得运维人员有足够的时间准备应对方案，采取必要措施消除隐患，避免电网因设备故障而陷入不稳定状态。此外，电力拖动控制技术也促进了电网的灵活调度和快速响应，该技术能快速调整牵引设备的运行状态，平衡电网供需关系，在电网负荷突变或受外界因素扰动时，保证电网电压和频率的稳定，这种快速反应和自动调节的能力，对提高电网抗干扰能力和应对突发事件的能力具有重要意义[4]。

（三）促进节能减排

在全球气候变化和能源危机的背景下，智能电网中电力拖动控制技术的应用为节能减排目标的实现提供了强有力的支持，通过优化拖动设备的运行参数和策略，降低了设备的能耗水平，减少了不必要的能源浪费，促进了绿色能源的智能化发展。在电机控制领域，电力拖动控制技术通过变频调速技术的应用，实现电机的按需供电，该技术可以根据负载的变化实时调整电机的转速和功率输出，避免了传统恒速运行模式下的能源浪费，同时，通过优化电机的控制策略，如采用先进的矢量控制技术和无传感器控制技术，可以进一步提高电机的运行效率和稳定性，降低电机的能耗和噪声[5-6]。此外，电力拖动控制技术也促进了可再生能源的获取和消费，在智能电网中，通过智能调度和控制策略，可以实现对可再生能源发电设备的精确控制和管理，这有助于平衡可再生能源发电的间歇性和波动性对电网的影响，提高可再生能源的利用率和电网的接纳能力。同时，通过优化电网结构和运行方式，如采用分布式能源系统、微电网等新型电网形式，进一步降低电网的输电损耗和配电损耗，实现能源高效利用和节能减排的目标[7]。

三、智能电网电力拖动控制技术研究与应用未来发展方向

（一）集成化与系统化发展

随着智能电网技术的不断进步，电力拖动控制技术正朝着更加集成化和系统化的方向发展，这种趋势不仅体现在技术的深度融合上，也体现在整个电网系统的有机融合和高效协调上。在集成方面，电力拖动控制技术将不再局限于单个设备或局部系统的优化，而是致力于实现跨设备、跨系统的数据共享和资源整合。通过构建统一的数据平台和通信协议，将打破不同设备、不同系统之间的信息壁垒，电力拖动控制技术可以获得更加全面、准确的电网运行数据，这些数据将作为智能决策的重要依据，促进电网运行效率、稳定性和安全性的全面提升。在系统化方面，电传动控制技术将更加注重电网系统的整体优化和协同工作，电力拖动控制技术通过构建系统的控制策略和调度方案，可以实现电网中所有牵引设备的统一管理和协调控制，这种系统化的控制方法将有效避免设备间的冲突和干扰，提高电网的整体运行效率和稳定性，系统控制策略可以根据电网实际运行情况和未来发展趋势进行动态调整和优化，确保电网始终处于最佳运行状态[8-9]。

（二）智能化与自适应控制

智能和自适应控制是未来智能电网中电传动控制技术的重要发展方向，随着人工智能、大数据、云计算等技术的不断成熟和应用，电力拖动控制技术将实现更加智能和自适应的控制效果。在智能化方面，电力拖动控制技术将充分利用人工智能的优势，通过机器学习、深度学习等先进技术，对电网运行数据进行深度挖掘和分析，这些智能算法可以自动识别电网中的异常情况和潜在风险，并给出相应的优化建议和解决方案，智能控制还可以实现电网的远程监控和故障预测，提高电网运维的效率和可靠

性[10]。在自适应控制方面，电力拖动控制技术会根据电网的实际运行情况和外部环境的变化自动调整控制策略和参数，这种自适应控制方法可以保证电网在不同工况下保持最佳运行状态。例如，当电网负荷突变时，自适应控制可以快速调整牵引设备的运行状态和功率输出，平衡电网的供需关系；当电网受到外界干扰时，自适应控制可以启动相应的保护措施，保证电网的稳定运行[11]。

（三）可持续性与环保性考虑

智能电网中电力拖动控制技术的未来发展必须充分考虑可持续性和环保性，这个方向不仅关系到技术本身的创新发展，也关系到推动整个能源行业的绿色转型和可持续发展[12]。在可持续性方面，电力拖动控制技术将致力于提高电网的能源利用效率和资源节约能力，通过优化拖动设备的运行参数和策略，可以减少不必要的能源浪费和排放，通过促进可再生能源的接入和消纳，提高可再生能源的利用率和电网的接纳能力，这些措施将有助于推动电网朝着更加低碳环保的方向发展。在环保方面，电力拖动控制技术将更加注重环境和生态的保护，通过采用环保材料、减少噪声污染、减少电磁辐射等措施，可以减少拖动设备对环境和生态的负面影响[13-14]。

四、结语

综上所述，电力拖动控制技术在智能电网中的应用和发展前景是广阔且充满挑战的，随着技术的不断进步和创新，电力拖动控制技术为智能电网的高效运行、稳定安全和可持续发展提供了有力支撑。同时，可持续与环保的深度融合，也凸显了电力拖动控制技术在推动能源产业绿色转型、应对全球气候变化中的重要作用[14]。未来，电力拖动控制技术将为建设更清洁、更高效、更安全、更可靠的能源体系做出贡献，这不仅将促进经济社会的持续健康发展，也将为地球家园的和谐共处和人类文明的可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献

[1]田宗奎. 电力拖动一体化中的 PLC 技术运用［J］. 中国金属通报，2021,(09):159-160.

[2]吕杰. 电气工程中电力拖动系统自动控制与安全保护问题探析［J］. 电子元器件与信息技术，2024,8(05):24-26.

[3]穆家祥，张春丽，郑军昌. 浅析电力拖动系统的自动控制和安全保护［J］. 电子测试，2021,(02):97-98.

[4]张海建. 电气工程中电力拖动系统自动控制与安全保护研究［J］. 新型工业化，2021,11(02):213-214+218.

[5]陆顺. 电力安全系统中的自动控制与继电保护策略分析［J］. 电子技术，2023,52(12):121-123.

[6]王喜. 智能变电站继电保护系统的维护策略［J］. 集成电路应用，2022,39(11):344-345.

[7]丁刚. 电力系统安全自动控制与继电保护研究［J］. 电气技术与经济，2024,(01):146-148.

[8]魏玮，王涵，王浩然. 电力系统及其自动化技术的安全控制问题与策略分析［J］. 电子技术与软件工程，2021,(15):117-118.

[9]杜星. 电力拖动系统的自动控制与安全保护策略分析［J］. 价值工程，2022,41(04):131-133.

[10]蒲天旺. 电气工程中电力拖动系统自动控制与安全保护的分析［J］. 电子元器件与信息技术，2021,5(01):103-104+109.

[11]邓福桐. 探讨电力拖动系统中的自动控制及安全保护［J］. 数字通信世界，2018,(07):238+255.

[12]杨媚. 关于电力拖动技术中控制电路的设计与改进的研究［J］. 电子制作，2016,(21):90+92.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2016.21.050.

[13]吴琪. 电力系统安全自动控制与继电保护研究［J］. 电子元器件与信息技术，2021,5(09):53-54+65.

[14]陈奕，丁超. 电力拖动系统中的自动控制安全技术方案分析［J］. 电子技术，2023,52(07):250-251.

小电流断路器梅花触头更换专用工具研制技术

宾啸，王闯，马博鸣
深圳供电局有限公司，广东 深圳 518000

摘　　要： 本文围绕小电流断路器梅花触头更换专用工具的研制展开。针对传统手动更换方法存在的效率低、弹簧易损等问题，设计了一种具备快速拆装、无损触头弹簧保护及接触压力测量功能的专用工具。通过实验验证，该工具大幅提升了触头更换效率，弹簧损坏率降至0%，并确保了更换后的接触压力稳定。实际应用结果表明，工具在电力系统的维护中表现优异，有效降低了电网故障风险。该研究为电力设备的高效维护提供了重要的技术支持。

关 键 词： 小电流断路器；梅花触头；专用工具

Research and Development of Special Tool for Replacing Small Current Circuit Breaker Flox Contacts

Bin Xiao, Wang Chuang, Ma Boming
Shenzhen Power Supply Bureau Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract: This paper focuses on the development of special tools for the replacement of the small current circuit breaker coupling contacts. Aiming at the problems of low efficiency and easy spring damage of traditional manual replacement method, a special tool with functions of quick disassembly, non-destructive spring protection and contact pressure measurement was designed. Through experiments, the tool has significantly improved the efficiency of contact replacement, reduced the spring damage rate to 0%, and ensured a stable contact pressure after replacement. The practical application results show that the tool performs well in the maintenance of power system and effectively reduces the risk of power grid failure. This research provides important technical support for efficient maintenance of power equipment.

Keywords: low current circuit breaker; plum contact; special tool

引言

小电流断路器作为电力系统中至关重要的保护设备，广泛应用于电力分配和控制系统中，特别是在电压较低但仍需高度可靠的电气环境下。随着电力系统日益复杂化和用电需求的不断增长，断路器的可靠性和维护效率变得尤为重要。在小电流断路器的日常维护过程中，梅花触头的更换是一项频繁且精细的操作。传统的更换方式通常依赖人工拆装，不仅工作效率低，且容易损坏触头弹簧，导致设备故障，甚至引发更为严重的炸柜事故。这些问题的存在严重影响了电力系统的安全性与稳定性。为了解决这些问题，提升小电流断路器的维护效率和安全性，研发一种专用的梅花触头更换工具成为了必要且紧迫的任务。这种工具不仅要能够快速、无损地拆装触头，还需具备便携性、可靠性及多功能性，以适应复杂的维护环境[1]。通过该工具的研制，不仅可以提升设备维护的质量和效率，还能够有效降低因维护不当引发的电网风险，具有很重要的应用价值。

一、小电流断路器与梅花触头简介

（一）小电流断路器的工作原理

小电流断路器是一种用于保护电气设备和线路的开关装置，主要用于电力系统中的低压场景。它的工作原理基于电磁感应和热效应。当电流超过设定值时，断路器中的电磁线圈产生足够的磁力推动断路器内部的机械结构切断电路，从而防止过载或短路对电气设备造成损害。在小电流条件下，断路器需要更加敏感的触发机制，确保能够准确识别和切断故障电流。小电流断路器的灵敏度和反应速度直接关系到电力系统的安全运行，因此对其工作可靠性要求极高。为了避免误动作，断路器通常还具备延时功能，确保在电流短时间波动时不会立即触发。这种工作原理使得小电流断路器成为电力系统保护中不可或缺的一部分。

（二）梅花触头的结构与功能

梅花触头是小电流断路器内部的关键部件，其形状类似于梅花，因而得名。它由多个弹性金属片构成，能够在电流通过时提

作者简介：宾啸（1986.03-），男，汉族，湖南省衡阳市人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

供良好的接触，确保电路的正常导通。梅花触头的弹性结构设计使其能够在长期的电流冲击下维持稳定的接触压力，从而保证断路器的正常工作。由于电气设备运行时的热效应和电流波动，触头在长期使用过程中容易发生磨损或接触不良，因此定期更换梅花触头成为保障断路器可靠性的重要工作[2]。梅花触头的高弹性设计不仅确保了电流的稳定传输，还在一定程度上缓解了因电弧引发的损耗。

二、梅花触头更换专用工具设计方案

（一）工具设计目标与要求

梅花触头更换专用工具的设计目标主要是提升工作效率和质量，同时确保更换过程中不损伤触头的弹簧结构。在传统手动更换方法中，操作过程繁琐且容易对触头和弹簧造成损坏，因此专用工具需要具有精密的操作控制功能，以减少人为误操作的风险。该工具必须能够显著缩短更换触头的时间，提高检修效率，避免因长时间停电带来的经济损失。工具应在设计上充分考虑到避免触头弹簧损伤，这是保证断路器接触可靠性的关键。通过确保触头在安装和拆卸过程中保持稳定的压力，可以避免弹簧的变形或损坏。工具还需具备较高的耐用性和稳定性，以应对复杂的电力环境和频繁使用的需求[3]。

（二）多用途、便携式、可拓展功能设计

为了适应不同的工作场景和需求，梅花触头更换工具需要具备多用途、便携式和可拓展的功能设计。多用途性要求该工具能够同时适用于不同型号和规格的断路器触头更换工作，减少因设备不同而导致的工具切换或不兼容问题。这不仅可以降低设备成本，还能提高维修效率。便携性则是考虑到电力维护工作多在狭小、复杂的环境中进行，工具必须轻便易携，以便于维修人员在任何条件下都能快速进行操作。工具的结构应简单易于拆装，同时具备良好的防护设计，避免在运输或使用过程中损坏。工具的设计应具备可拓展性，未来可以根据不同的维修需求进行功能扩展，例如增加一些检测或辅助拆装的模块。这样的设计能够有效提升工具的适应性和长久使用价值。

（三）工具的快装及测量功能设计

为了进一步提高触头更换的效率，专用工具需要具备快装功能，使得维修人员能够迅速完成梅花触头的拆装工作。传统方法往往需要较长时间来手动调整触头和弹簧的位置，而快装设计将允许触头在固定轨道或支撑结构中精确定位，减少调整时间。通过快装机制，维修人员可以在几分钟内完成整个更换过程，大大提升了工作效率。

工具应具备测量触头压力的功能，以确保更换后的触头能够提供适当的接触压力。触头压力是断路器可靠性的重要参数，过大或过小的压力都会影响设备的正常运行[4]。该功能可以通过内置的压力传感器实时测量触头压力，并显示在工具的界面上，帮助维修人员在更换时及时调整，从而保证更换后的触头能够达到最佳状态。通过这种精确控制，工具不仅能够提高更换效率，还能大幅降低因安装不当引发的安全隐患。

三、工具研制技术实现

（一）材料选择与加工技术

在研制梅花触头更换专用工具的过程中，材料的选择是决定工具性能和耐用性的重要因素。该工具需要经受频繁的拆装操作和复杂的电力环境，因此选材必须兼具高强度、耐磨性和抗腐蚀性。通常情况下，工具的主要部件采用高强度合金钢或钛合金，这类材料不仅硬度高，能够抵抗机械磨损，同时具备较好的耐腐蚀性，能够适应潮湿、盐雾等恶劣工作环境。为了减轻工具的重量，提高便携性，某些结构部件可以采用轻质的铝合金或工程塑料，确保工具的整体操作灵活性。工具的表面需进行特殊处理，如热处理、镀层或氧化处理，以增强其耐用性和耐腐蚀性能。

在加工技术上，采用数控机床和高精度的机械加工设备，确保工具各部件的精密度达到设计要求。加工过程中需要特别关注工具的装配精度，以确保在使用过程中不同部件的无缝衔接，避免因间隙或公差问题影响工具的功能和使用寿命。焊接和组装工艺也应精益求精，保证工具的强度和稳定性。部分关键部件可以采用3D打印技术进行原型开发与测试，以节省开发时间并提升设计灵活性[5]。

（二）工具的结构设计与功能测试

工具的结构设计必须满足多功能和快装要求，并具备良好的操作手感和稳定性。工具的主体结构设计为模块化，方便进行组装和拆卸，同时模块化设计也使得后续维护和功能扩展更加容易。各模块之间采用插拔或螺纹连接方式，确保在更换触头时能够迅速安装到位，并提供足够的固定力。工具需要设计符合人体工程学的手柄和控制装置，使操作人员在使用过程中能够更加顺手、舒适，减少因长时间操作带来的疲劳感。

功能测试是确保工具研制成功的重要环节。在初期开发过程中，工具的各项功能如快装功能、测压功能等都需要经过多次测试和验证，以确保设计符合预期效果。测试内容包括触头更换效率、触头弹簧保护效果、测压精度以及工具的耐久性等。通过模拟实际维护环境中的操作，测试工具在不同工作条件下的表现，并根据测试结果对设计进行优化[6]。例如，快装功能的测试重点在于工具能否快速且准确地完成触头拆装，弹簧无损测试则需验证工具是否能够在拆装过程中有效保护弹簧结构不受损坏。

（三）断路器触头弹簧快速无损拆装的实现

实现断路器触头弹簧的快速无损拆装是该专用工具的核心功能之一。由于弹簧的弹性和精密结构极易在更换过程中受到损坏，工具设计时需要特别关注对弹簧的保护。工具应具备自动定位和固定弹簧的功能，确保在拆装过程中弹簧始终保持在稳定的位置，避免因位置偏移或受力不均导致弹簧变形或损坏。为了达到这一目标，工具在设计中应采用弹簧夹具或专用的固定机构，能够对弹簧进行有效约束。拆装过程中，工具需要通过精密控制拆装力度，防止施加过大的机械应力破坏弹簧。利用气动或液压驱动装置可以实现更加平稳和精确的力控制，避免人为操作带来的不稳定性[7]。为了进一步确保无损拆装，工具还可以配备压力传感器或位移传感器，实时监测拆装过程中弹簧所受到的力和位

移情况，当超出安全范围时，系统会发出警示，确保拆装过程完全在安全可控的范围内进行。

四、技术验证与应用

（一）断路器梅花触头更换专用工具的测试案例

在断路器梅花触头更换专用工具的开发完成后，进行了一系列的功能测试和应用验证。测试选择了不同类型的断路器进行实际操作，以验证该工具在不同工作环境和设备中的适应性。测试的主要内容包括：触头更换的时间、操作的稳定性、弹簧损坏率以及更换后的接触压力检测[8]。测试案例分为传统人工操作和使用专用工具两种方式进行对比。

在测试中，使用工具操作的触头更换时间显著缩短，由传统人工操作的15分钟减少至5分钟，工作效率提高了约66%。与此同时，在专用工具的辅助下，触头弹簧的损坏率从人工操作的10%降至0%。表格中列出了不同测试设备中，人工操作与工具操作在时间、弹簧损伤情况和接触压力方面的对比数据。

测试项目	传统人工操作	专用工具操作	提升率 / 效果
更换时间（分钟）	15	5	+66%
弹簧损坏率	10%	0%	100%
接触压力（单位）	4.5	5.0	+11%

从测试结果可以看出，专用工具在实际应用中的效果显著，不仅极大提高了工作效率，还有效避免了弹簧的损坏问题，验证了工具的设计合理性与实际应用价值。

（二）实验结果与分析

通过多次测试实验，专用工具的各项功能表现均超过了预期，尤其在触头弹簧无损拆装以及快速更换方面效果尤为突出。在接触压力的测试中，传统人工操作难以保持触头的压力一致性，导致部分更换后的触头接触不良，压力值偏低，平均值为4.5单位。而使用专用工具后，工具内部的测压功能确保了每个触头的接触压力均匀，平均值达到5.0单位，确保了更换后的断路器能够正常运行[9]。

另一个重要的实验结果是更换过程中弹簧的保护效果。传统人工更换方式中，由于操作人员无法精确控制拆装力道，导致弹簧变形或损坏的情况时有发生，而在使用专用工具后，这一现象得到完全避免。实验数据显示，使用该工具后弹簧损坏率降为0%，大大提升了更换后的断路器可靠性。

（三）工具在实际维护工作中的应用效果

在经过实验室测试后，专用工具被应用于实际的电力系统维护工作中。通过在多个变电站和电力公司设备维护中的实际应用，验证了工具在复杂环境中的稳定性和实用性。数据显示，使用该工具的维护工作时间平均减少了50%以上，维修人员反馈，工具的快装设计使得操作更加简便、快捷，大大减轻了人力负担。

在实际应用中，断路器维护的整体质量也得到了提升。通过专用工具的测压功能，确保了每次触头更换后的接触压力符合标准，有效避免了接触不良导致的断路器故障。工具的弹簧无损保护设计在维护过程中表现出色，特别是在一些长时间运行且设备老化的断路器上，弹簧未出现任何损坏，维护后的设备运行稳定。

根据实际应用的反馈，维护人员普遍认为该工具大幅提高了工作效率，减少了人为操作失误的风险。尤其是在紧急情况下，工具的便携性和多用途设计帮助快速完成了断路器的维护工作，避免了长时间停电带来的经济损失[10]。

五、结论

本文成功研制了一种小电流断路器梅花触头更换专用工具，显著提升了断路器维护工作的效率和质量。通过精确的设计和技术实现，该工具具备快速拆装、无损触头弹簧、更换过程中接触压力测量等多项功能，解决了传统手工操作中存在的效率低、损坏率高等问题。实验结果表明，使用该工具后，触头更换时间减少了50%以上，弹簧损坏率降至0%，接触压力得到有效控制，验证了工具的实用性和可靠性。工具在实际应用中表现出色，维护人员反馈操作简便，有助于提高电力系统的整体维护水平。该工具的推广应用不仅能减少电网故障风险，还将进一步优化电力设备的维护流程。未来，通过不断优化设计和功能扩展，该工具有望在更广泛的电力设备维护中发挥更大作用。

参考文献

[1]林佳. 10 kV断路器手车梅花触头发热原因与解决方案［J］. 科技与创新，2024,(09):110-112.
[2]姚光久，闫超，何潇柳，等. 小车开关梅花触头电动更换装置设计与实现［J］. 电工技术，2024,(02):170-172.
[3]尚嘉诚，张彦宇，鲁亮，等. 开关柜手车触头安装工具的研制［J］. 农村电气化，2021,(05):58-59.
[4]马建鹏，桑嘉荠，张国梁. 手车断路器梅花触头部位发热原因与对策［J］. 电子技术，2021,50(03):182-183.
[5]薛赛，曹飞翔，姚新年，等. 开关柜梅花触头弹簧拆装工具的研制及应用［J］. 安徽电气工程职业技术学院学报，2020,25(03):43-46.
[6]庄建煌，温枝强，彭健，等. 便携式梅花触头专用拆装工具研制及应用［J］. 机械研究与应用，2019,32(02):130-132.
[7]倪惠浩，张小虎. 一种10 kV小车开关梅花触头弹簧拆装专用工具的研制与应用［J］. 机电信息，2018,(03):35+38.
[8]黄勐哲，陈丽安. 装有记忆合金压片梅花触头的开关柜温度场仿真分析［J］. 高压电器，2017,53(06):84-89.
[9]林明伟. 10kV小车开关梅花触头装拆专用工具的研制与应用［J］. 机电信息，2016,(30):88-89.
[10]胡晓琳，李公波，孔凡强. 新型真空断路器梅花触头拆装工具的研制与应用［J］. 电工技术，2015,(10):60-61.

先进自动化控制技术在工业电气系统中的应用

万鹏[1]，夏文祥[2]

1.国网江西省电力有限公司南昌市进贤县供电分公司，江西 南昌 331700

2.国网江西省电力有限公司南昌市新建区供电分公司，江西 南昌 333000

摘　　要： 本论文探讨了先进自动化控制技术在工业电气系统中的应用。首先，概述了现代工业电气系统的必要性及其在提高生产效率和安全性方面的重要性。接着，详细分析了几种关键的先进控制技术，包括智能传感器技术、分散控制系统（DCS）、和可编程逻辑控制器（PLC）的集成应用。这些技术在改善系统响应、提高自动化水平以及减少人为干预等方面的突出优势进行了深入讨论。此外，文章还介绍了成功案例，展示了这些技术在具体工业环境中的有效性和实用性。最后，总结了当前的挑战以及未来的科技发展方向，为实现更为智能化的工业电气系统提供了洞见。[1]

关 键 词： 先进自动化控制技术；工业电气系统；智能传感器；分散控制系统；可编程逻辑控制器；工业自动化

Application of Advanced Automation Control Technology In Industrial Electrical System

Wan Peng[1], Xia Wenxiang[2]

1. State Grid Jiangxi Electric Power Co., LTD. Nanchang Jinxian Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi 331700

2. State Grid Jiangxi Electric Power Co., LTD. Nanchang Xinjian District Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi 333000

Abstract: This paper explores the application of advanced automation control technology in industrial electrical systems. Firstly, it provides an overview of the necessity of modern industrial electrical systems and their significance in enhancing production efficiency and safety. Next, it analyzes several key advanced control technologies in detail, including the integration of smart sensor technology, Distributed Control Systems (DCS), and Programmable Logic Controllers (PLC). A deep discussion is provided on the remarkable advantages of these technologies in improving system response, increasing automation levels, and reducing human intervention. Additionally, the paper presents successful case studies demonstrating the effectiveness and practicality of these technologies in specific industrial environments. Finally, it summarizes current challenges and future technological developments, offering insights for achieving more intelligent industrial electrical systems.

Keywords: advanced automation control technology; industrial electrical systems; smart sensors; distributed control systems; programmable logic controllers; industrial automation

引言

在现代工业中，电气系统扮演着至关重要的角色，它们是推动生产设施运转和维持工业流程连续性的心脏。传统工业电气系统由于过于依赖人工操作和监控，往往在效率和精确性方面存在不足。近年来，工业领域竞争日益激烈，对于提高生产效率、降低成本和确保安全运行的需求不断增长，这使得对更为现代和高效的自动化控制技术的需求变得迫切。

一、自动化控制技术概述

（一）自动化控制技术的定义

自动化控制技术是指通过使用控制系统（如计算机或机器人）在较少或无人工干预的情况下实现设备、系统或过程的操作。其目的在于提高效率、准确性和安全性，同时减轻人类在繁重、危险或重复性工作中的负担。通过自动化，复杂的工业操作可以得到优化，从而实现更高的生产率和质量控制。[1]

（二）分类与类型

自动化控制技术根据其应用领域和工作原理可分为多种类型，主要包括过程控制、运动控制和逻辑控制。

1. 过程控制

过程控制通常用于连续生产以及化工、石化等领域，关注对生产过程的自动调节，以保持生产系统在稳定、高效的状态下运行。常见的过程控制工具包括传感器、控制器和执行器，通过持续的反馈和调整，维持工艺变量如温度、压力、流量和液位在设定范围内。

2. 运动控制

运动控制主要用于需要对位置、速度、加速度进行精确控制的工业设备和机器人。此类控制系统广泛应用于数控机床、机器人手臂、自动化装配线等设备中。它通常涉及伺服系统或步进电

作者简介：万鹏（1981.07-），男，汉族，籍贯（江西南昌）党校大专，研究方向电气工程及其自动化。

机系统，以实现高精度和动态响应。

3. 逻辑控制

逻辑控制系统是自动化系统中最基础的一类，负责执行离散的开关操作，如启动或停止设备、进行逻辑判断等。可编程逻辑控制器（PLC）是逻辑控制的典型代表，因其灵活性、高可靠性和易于编程改造广泛应用于工厂自动化中。逻辑控制系统提供了一种简单而有效的方法来实现对一系列事件的自动响应，以提高系统的安全性和稳定性。

全面理解自动化控制技术的分类和类型，有助于我们根据具体应用需求选取合适的控制方案。自动化控制技术的不断进步，使得复杂的生产和控制系统能够更加智能、自主地操作，释放出更大的生产潜力和市场竞争力。通过不断学习和引入新技术，企业将更好应对产业变化，并在现代工业中保持技术领先地位。[2]

二、先进自动化控制技术

工业电气系统的进步在于能够有效利用先进的自动化控制技术，这些技术包括智能控制系统、物联网（IoT）、工业机器人及其控制技术，以及大数据与人工智能。每种技术都在不同程度上提高了效率、可靠性和灵活性。

（一）智能控制系统

智能控制系统通过模拟人类思维和决策过程来优化工业流程。其核心技术包括人工神经网络和模糊逻辑控制。

1. 人工神经网络

人工神经网络（ANN）是模拟人类大脑结构的数学模型，通过大量的训练数据进行学习以识别复杂模式和预测趋势。在工业电气系统中，ANN可以用于电力需求预测、故障诊断和系统优化等方面。利用ANN可以提高系统的响应速度和精确度，同时降低人为误操作的概率。

2. 模糊逻辑控制

模糊逻辑控制（FLC）是一种处理不确定性和模糊数据的控制策略，其算法基于模糊集合理论。FLC可以有效处理非线性系统，在没有明确数学模型的情况下对复杂工业过程进行高效控制。通过使用模糊规则，FLC能够在复杂的工业环境中实现稳健的控制行为。

（二）物联网（IoT）在自动化中的应用

物联网技术通过在设备间建立通信网络，实现设备之间数据的无缝传输和实时监控。在工业电气系统中，IoT可以用于资产管理、设备维护以及生产流程的优化。传感器收集的数据通过IoT平台分析后，可以帮助公司及早发现潜在的设备故障，减少停机时间并显著提高生产效率。[3]

（三）工业机器人及其控制技术

工业机器人以其灵活性和高效性在工业自动化领域扮演着重要角色。现代工业机器人集成有复杂的传感器系统和精准的控制算法，能够执行精细化的制造任务，降低生产误差并提升产品质量。通过先进的运动控制技术，如路径规划和运动优化，工业机器人能够在动态的生产环境中快速应对变化。

三、工业电气系统中的应用实例

在现代工业环境中，先进自动化控制技术的应用极大地提高了生产效率和系统的可靠性。本节将详细探讨几种在工业电气系统中具有代表性的应用实例。

（一）自动化生产线的控制应用

自动化生产线是现代工业的核心，其高效运转离不开先进控制技术的支持。其中，PLC（可编程逻辑控制器）和DCS（分布式控制系统）是两种主要的控制方式。

PLC和DCS系统

PLC系统因其灵活性和易编程性广泛应用于自动化生产线。PLC负责控制生产线上的设备和过程，能够快速响应输入信号，并执行复杂的逻辑运算。在实际应用中，PLC常用于机械制造、汽车装配等领域，以实现设备之间的同步和协调。

DCS系统则更适合于需要多级协调的大型生产线。DCS通过分布式的控制节点，提供多层次的信息处理能力和整体监控能力，特别适用于化工、石油等需要处理大量数据和复杂过程的行业。DCS系统的优势在于其高容错性和维护的便捷性，确保了生产过程的连续性和稳定性。[4]

（二）高效能源管理系统

高效能源管理系统是现代工业电气系统的重要组成部分，旨在优化能源使用、降低成本并实现可持续发展。此类系统通过实时监测电力消耗、分析使用模式，并实施自动化控制策略，帮助企业有效减少能源浪费。

利用智能仪表和传感器技术，能源管理系统能够实时收集不同设备的能耗数据。结合大数据分析和机器学习技术，这些系统可以预测未来的能耗趋势，提供有效的节能建议，并进一步通过自动化调整策略来优化电力分配。

（三）智能电网技术

智能电网技术通过将先进的通讯技术与电力基础设施相结合，实现电力的智能化管理。智能电网使用双向通信技术，允许电网各个部分的实时数据交换，优化电力分配，减少损耗，并提高供电的可靠性和稳定性。

在工业应用中，智能电网技术可用于优化工厂电力资源的调度，如动态负载管理和分布式能源集成。同时，它也助力于故障检测和快速恢复，确保生产过程即使在电力波动中也能平稳运行。

（四）预测性维护系统

预测性维护系统通过持续监测和分析设备的运行状态，实现对故障的预判和提前干预，极大地降低了设备意外停机的风险。

四、自动化控制技术的优化与发展

在现代工业电气系统中，自动化控制技术的优化与发展是提升生产效率和产品质量的重要途径。这一部分将探讨如何通过系统集成与协同工作、人机交互优化、安全性与可靠性提升以及可持续发展与环保等方面来实现自动化控制技术的优化与发展。[8]

（一）系统集成与协同工作

系统集成是自动化控制技术发展的核心，旨在将分散的自动控制装置、传感器和执行器集成到一个统一的平台，以实现信息的无缝传递和功能的协同处理。通过先进的集成技术，工业企业可以实现不同控制系统之间的联动，从而提升生产效率。例如，采用工业互联网和物联网技术，各个设备之间可以实现高效的数据交互和协作，进一步优化生产流程。[7]

（二）人机交互优化

自动化控制技术的发展离不开人机交互的不断优化。现代工业系统需要直观、高效的控制界面，帮助操作人员更好地监控和管理复杂的生产流程。通过引入增强现实（AR）技术和自然语言处理等先进技术，可以大大提升人机交互的友好性和易用性。例如，操作人员可以通过语音指令快速调节生产参数，提高生产的响应速度和灵活性。

（三）安全性与可靠性提升

在自动化控制系统中，安全性和可靠性是至关重要的。随着互联网技术的广泛应用，工业控制系统面临的网络安全威胁也日益增加。为了保障系统安全，必须采取多层次的网络安全策略，包括防火墙、入侵检测系统及数据加密等措施。与此同时，采用故障预测与健康管理（PHM）技术，可以提前预判设备故障，提高系统的运行可靠性。

（四）可持续发展与环保

可持续发展是现代工业的方向，自动化控制技术在这方面的贡献不容小觑。通过优化能源管理系统，企业可以实现能源的高效利用和排放的最小化。例如，采用先进的传感器技术可以实现对能耗的实时监测和优化调整，从而减少不必要的能源消耗。此外，随着环保法规的不断严格，自动化控制技术还使得企业能够更好地控制污染物的排放，助力于企业实现绿色制造的目标。[5]

综上所述，自动化控制技术的优化与发展在于如何通过技术集成、系统的智能化及高效的人机交互来应对现代工业面临的各种挑战，最终达到提升效率、保证安全、实现可持续发展的目的。

五、挑战与未来趋势

（一）当前挑战

在工业电气系统中应用先进的自动化控制技术面临许多挑战，其中技术复杂性和成本因素尤为突出。

1. 技术复杂性

随着自动化控制技术的发展，其复杂性也在不断增加。这种复杂性体现在多个方面，包括系统设计、软件开发、集成和维护等。复杂且庞大的系统架构不仅需要高水平的专业技能和知识，还可能导致潜在的系统故障和安全隐患。此外，不同控制技术和设备之间的互操作性问题也是一项巨大的挑战，连接和整合不同厂商的设备和技术常常需要额外的时间和资源投入。

2. 成本因素

成本是阻碍先进自动化控制技术广泛应用的另一重大因素。初始投资成本高昂，包括硬件购置、软件定制开发、以及员工培训等。同时，维护和升级的持续成本也不容忽视。更高端的自动化方案虽然能带来更高的效率和节能，但对于一些中小企业而言，短期内的高成本可能超过其预算承受能力，从而影响技术推广的进程。

（二）未来发展趋势

尽管存在诸多挑战，工业电气系统自动化仍然迎来了许多令人期待的未来发展趋势。

1. 自主决策型系统

未来，工业自动化系统将更加智能化，其中最显著的特征便是自主决策能力的增强。借助人工智能和机器学习算法，系统将能够自主分析运行数据，做出优化决策。这不仅可以提高生产效率，还能显著降低人为错误率，增强系统的灵活性和适应性，例如，在不同负荷条件下自动调整运行参数以确保最优性能。[9]

2. 跨领域融合

随着数字化和信息化的不断深入，工业电气系统与其他领域技术的融合成为发展趋势之一。这种跨领域融合不仅涉及信息技术与通信技术（ICT）的结合，还包括物联网（IoT）、云计算和大数据分析等技术的应用。这种融合将有助于实现智能管理、远程监控和自动化程度的提升，并推动工业电气系统朝着更加网络化、信息化和智能化的方向发展。通过更紧密的跨领域合作，企业能够实现更高效的资源调配和更精准的市场响应。[6]

六、结论

在本研究中，我们深入探讨了先进自动化控制技术在工业电气系统中的应用，并得出了一些重要的结论和发现。这不仅为现阶段的工业电气系统创新提供了理论基础，也为未来的研究奠定了方向。先进自动化控制技术显著提高了工业电气系统的效率和可靠性。通过引入自动化控制，不仅可以实现系统的实时监测与调整，还有效降低了人为操作失误导致的系统故障发生率。其次，这些技术的实施有效减少了能源消耗。在工业生产过程中，控制技术通过优化运行参数和实现智能负载调控，能够显著降低不必要的能源浪费，进而降低运营成本。[10]

这些技术的应用使得系统能够自我学习和适应环境变化，提高了工业过程的灵活性和适应性，支持更为复杂和多变的生产活动。

参考文献

[1] 工业电气自动化控制技术的问题与措施分析. 梁彦. 农家参谋，2019(05).

[2] 浅析煤矿企业电气自动化控制技术. 尹学. 能源与节能，2019(04).

[3] 电气自动化控制技术的问题及措施分析. 张莉莉. 通信电源技术，2018(06).

[4] 电气自动化控制技术在电力系统中的应用研究. 肖奔. 科技创新与应用，2016(11).

[5] 电气自动化控制技术的探讨. 姜爱林；裴志富. 科技创新与应用，2016(17).

[6] 电气自动化控制技术的研究. 刘亮. 科技创新与应用，2014(24).

[7] 电气自动化控制技术在矿山生产中的应用. 路东兴. 世界有色金属，2017(20).

[8] 电气自动化控制技术及其应用. 聂波. 三峡大学学报（人文社会科学版），2017(S2).

[9] 工厂电气自动化控制技术在生产工作中的应用. 王建华. 中国设备工程，2018(08).

[10] 电气自动化控制技术的研究. 蔡合仁. 科技传播，2014(07).

农配网工程安全质量管理的现状与挑战

牙里坤 · 苏力坦

国网喀什供电公司喀什市供电分公司，新疆 喀什 844000

摘　　要： 农村配电网是实现城乡互联、保障农村用电的重要环节承担着重要的角色。它不仅关系到用户的用电安全与舒适，更直接决定了供电的稳定性和成本效益。因此，对农配网工程的安全质量管理进行严格监控和把控至关重要。只有这样，才能确保电力系统的持续健康发展，满足人民群众日益增长的用电需求，同时也为国家的经济社会发展做出积极贡献。本文首先通过对近年来农配网工程的现状进行分析，并针对当前存在的施工难点，提出了提高农配网工程安全质量管理的有效措施，以期为提升农配网工程安全质量管理水平提供参考。

关 键 词： 农配网；工程安全质量；管理措施

The Current Situation and Challenges of Safety and Quality Management of Agricultural Distribution Network Engineering

Yalikun · Sulitan

Kashgar Power Supply Branch of State Grid Kashgar Power Supply Company, Kashgar, Xinjiang 844000

Abstract: The rural distribution network plays a crucial role in connecting urban and rural areas and ensuring electricity supply in rural areas. It not only affects the safety and comfort of users' electricity consumption but also directly determines the stability and cost-effectiveness of power supply. Therefore, strict monitoring and control of the safety and quality management of rural distribution network projects are essential. Only in this way can we ensure the sustained and healthy development of the power system, meet the growing demand for electricity among the people, and make a positive contribution to the country's economic and social development. This article first analyzes the current status of rural distribution network projects in recent years and proposes effective measures to improve the safety and quality management of rural distribution network projects based on the current construction difficulties, aiming to provide a reference for improving the safety and quality management level of rural distribution network projects.

Keywords: agricultural distribution network; engineering safety and quality; management measures

引言

随着我国社会经济的快速发展，人们生活水平不断提高，对电力的需求也越来越大。为了满足这种需求，电网企业不断加强对配电网工程的投入和建设力度。在这一过程中，农配网工程作为其中的关键环节之一，受到了广泛关注。农配网工程主要负责连接城乡之间、城市内部以及农村地区之间的电网，是实现供电资源合理分配和利用的重要途径。它的顺利进行直接关系到农村用户的用电安全、稳定和便捷。因此，确保农配网工程的安全质量，对于推动电力行业的健康发展具有重要意义。然而，由于涉及范围广、施工难度高等因素，农配网工程的安全质量管理面临着诸多挑战。

一、当前农配网工程安全质量管理的现状

（一）安全管理制度执行情况

由于农配网工程的项目业主是国家电网公司，所以在安全生产管理方面有着比较完善的制度。然而，许多建设单位对此并未认真贯彻执行。一些建筑公司采用劣质建材以节约成本。一些建筑企业甚至会违反规定进行施工，对其安全生产构成了极大的隐患。因此，仅靠加强安全管理体系的实施还远远不够。另外，在一些地方，工程转包的现象比较普遍，这样可以降低企业的人力资本投资，但也会导致责任划分不清，安全监督不力。因此，必须要对这些情况加以重视，通过有效的措施来避免此类现象的发生。

（二）质量监管体系构建与运行现状

与城市配网工程相比，农配网工程施工现场环境更为复杂，项目分布更广，而且大多都是以乡镇为单位进行集中建设，导致监管难度较大。随着新技术的应用，例如无人机、北斗定位等技

作者简介：牙里坤·苏力坦（1970.09-），男，维吾尔族，新疆维吾尔自治区喀什地区喀什市，大专，农配网工程安全质量管理。

术逐渐被运用到工程施工中，但在具体的实际操作过程中仍然存在着不小的问题，例如数据信息采集不准、设备验收无法形成闭环管理、应急处理机制不完善等。所以需要进一步优化农配网工程监管体系，制定合理的管控制度，提升工作人员的综合素质，规范施工流程和施工工艺，避免出现“萝卜快了不洗泥”的现象，确保工程建设的质量。

（三）未来安全质量管理趋势

随着时代的发展，农配网工程的安全质量管理正朝着更加高效和精细化的方向迈进。相信在不久的将来，这一领域将会引入先进信息化技术，通过大数据和人工智能等技术手段，显著提升管理效率和质量。同时，对施工人员的专业培训也将得到加强，教育和培养他们成为既有良好安全意识又具备高技能水平的新型劳动者。这种培训不仅包括理论知识的学习，更重要的是实践操作能力的提高，确保施工人员能够熟练掌握安全规程，正确使用工具和设备，有效应对各种施工风险。

二、农配网工程安全质量管理的意义

（一）保障农村用电安全

农村配电网络的安全管理是保证农村供电安全的关键。要使农民们用上放心电、满意电，就需要采取有效的安全质量管理手段，提高施工质量和水平，保证整个工程的安全稳定。通过这些手段的实施，将极大地提高我国农村电网应对各类自然灾害、突发性事件的能力，促进我国农村经济的持续稳定的发展，保障人民群众用电的稳定。通过提高农村地区的供电质量，可以有效促进当地经济结构的优化升级，为乡村振兴战略的实施注入强大动力。

（二）提升农配网工程质量

在实施农配网工程的过程中，必须确保每一步骤都严格遵循既定的技术标准。工程小组要对每个细节进行严格把关，以保证从选材到施工作业的各个阶段均符合国家标准和工业规范。通过这种细致管控的方法，既能有效地防止质量问题，又能确保项目的可靠与安全，还能提高整体电网的稳定与供电能力。同时，还要加强对工人的教育和培训，提高他们的整体素质，严格遵守施工程序，保证每个施工过程都能做得很好。并且还要严格落实巡视验收制度，从各个角度对整个项目进行监控，发现问题，及时处理，确保农村电网工程的质量得到提升。

（三）优化农村电力资源配置

农配网工程是国家电网公司加强农村基础设施建设的重要举措，通过对农村配网进行改造，进一步提高了农村电力保障水平。在农配网工程中实施安全质量管理措施，可以有效解决农村供电设备老化、线路损坏等问题，提高供电可靠性，为农民生活生产提供安全可靠的电力保障。此外，农配网工程还可以促进当地经济发展，带动相关产业发展，增加就业岗位，实现“造血式”扶贫目标。

（四）促进农村可持续发展

随着经济的快速发展和社会的不断进步，我国农村电网建设取得了显著成就。其中农配网工程作为农村电网建设中最为关键、投资额最大的项目之一，对电力企业的利润贡献也极为重要。因此，强化对农配网工程的安全质量管理，不仅可以有效减少工程项目的安全隐患，还能确保电力的稳定供应，进而为推动农村经济的可持续发展提供有力的支持和保障。

三、农配网工程安全质量管理的难点

（一）物资协调与管理的复杂性

农配网工程规模小，物资种类多，在工程的实施过程中需要使用大量的物资。由于各个地区之间存在差异，因此在进行物资采购时，必须结合具体情况进行考虑，只有这样才能保证所需物资能够及时到位，为农配网工程的顺利开展奠定良好基础。但是由于当地对物资的需求量不稳定、信息闭塞等原因，导致实际需求与计划采购出现较大偏差，给工程的安全质量管理带来不利影响[1]。

（二）施工环境与技术要求的挑战

农配网工程在施工过程中，涉及的施工环境非常复杂，一方面，工程项目地点多位于农村地区，道路狭窄，人流量大，车辆众多。另一方面，由于农村地区居民居住分散，且以务农为主，大部分房屋都是瓦房，其墙体为泥土结构，承重能力较差，加上地形条件限制，给电网施工带来了很大的挑战。同时，乡村电网在进行改造时，一般不会一次性大规模进行，而是根据实际情况分批次进行。因此，在电网建设初期，需要充分考虑到当地的经济发展水平、气候环境等因素，才能制定出合理的电网规划方案。但是，当前不少管理人员对这些问题并未给予足够的重视，导致后期在执行电网规划方案时出现严重的安全质量问题[2]。

（三）安全管理与风险控制存在难点

农配网工程涉及的施工内容多、工程复杂，施工环境复杂。在具体工程实施过程中，由于缺乏经验，不能及时发现安全隐患，从而导致安全事故发生，影响整体建设进程。并且，在工程项目推进的道路上，往往伴随着不可预知的挑战和风险。这些突发情况可能是意料之外的自然现象、技术故障或是其他外部因素导致的。然而，在传统的管理模式下，通常所制定的应急预案和处理机制并不总是能够有效地适应多变的实际情况。这就要求我们必须对现有的管理体系进行深入的分析与审视，通过不断地优化与改进，来提高项目团队对于各种突发情况的应对效率和响应速度。这样的努力不仅能够确保项目的顺利进行，同时也能最大限度地减少可能的损失和影响[3]。

（四）质量监控与验收标准管控不严格

农配网工程建设的过程中，往往因为一些设计不合理或者施工工艺不达标等原因导致工程质量难以得到保障。以某一乡镇为例，该区域电网由于负荷增长过快、电力设备老旧等原因导致供电能力不足，需要进行大规模的改造升级。在工程建设过程中，负责施工的单位为了节省成本，选用了劣质材料，导致施工后的电网运行出现问题[4]。同时，在验收环节，相关人员没有严格按照国家有关标准对工程项目进行验收，使得电网无法正常投入使

用，严重影响到相关用户用电需求。

四、农配网工程安全质量管理的优化策略

（一）强化安全质量意识，构建全员参与机制

由于农配网工程的安全质量管理涉及到工程施工、竣工验收等多个环节，因此在实际管理过程中必须要强化工作人员的安全质量意识，提高其对安全质量的重视度。例如：以具体行动为例，通过精心组织和实施安全生产月活动，员工们得以有机会集中精力深入学习与生产安全密切相关的法律法规。同时，还定期举办技术培训会以及技能比武活动，这些措施无疑极大地提高了工作人员的专业技能和综合素质。这样的培训模式不仅增强了他们对安全生产重要性的认识，也促进了团队间的相互学习和成长，为安全和质量管理工作打下坚实的基础，确保各项工作都能在规范、高效的轨道上运行[5]。

（二）完善安全质量管理体系，规范施工流程

在农村配电网工程的安全质量管理工作中，要把安全生产的观念与项目管理理念相结合，建立完善的安全质量管理系统，对施工全过程的安全质量进行制度保证。在建设项目的管理过程中，要根据自身的实际，确定各个环节的工作职责，强化对重点工作人员的培训，使其整体素质得到提升。除此之外，必须严格规范各部门在施工过程中的操作规程，确保它们能够高效协同工作，为整个工程项目提供坚实可靠的支撑。同时，应防止在建设过程中出现不必要的重复劳动和资源的无谓消耗，从而节约成本并提高效率。通过这样的措施，可以有效地避免浪费现象，确保每一分投入都能发挥最大效益[6]。

（三）加强施工现场管理，严格把控关键环节

要加强农村配电网络工程的安全和质量管理，应加强现场管理，规范施工队伍的素质。首先要开展对施工人员的安全教育，让每个施工人员都知道施工现场的危险性，并知道如何预防施工中发生的安全事故。其次，要做好安全措施的制定和执行，对施工环境进行全面的评估，识别隐患，制定相应的应对措施，确保施工作业符合规范的要求。最后，在施工过程中，要对施工材料进行严格的把关，杜绝偷工减料、以次充好的现象发生，从而保证施工质量的源头[7]。同时，也需要建立健全的奖惩机制，对表现突出的员工给予奖励，对存在违规操作行为的员工进行惩罚，以此来提高其工作积极性，促使各项工作顺利开展。

（四）利用现代科技手段，提升安全质量管理效率

为了提高农村配电网的管理效率，就必须采用现代化的技术手段，对农村配电网项目进行安全、质量管理。一方面，可以通过信息平台，实现项目进度、质量和费用的实时监测，降低了企业的人力和物力成本。同时，借助先进的智能化装备与技术，还可以使项目管理队伍的缺陷检测与风险辨识能力将大幅提高，既能有效地发现问题，又能提高对潜在风险的敏感性[8]。但是，在实际的使用过程中，我们也要注意到，在运用这些现代化的信息技术时，一定要坚持“预防为主”。这意味着，从事后的补救措施转向事前的预防策略，以实现更为主动、更有预见性的管理目标。通过这样做，农业配电网工程的安全与可靠性可以得到更为坚实的保障，确保电力供应系统能够在各种环境下稳定运行，为农村地区的经济发展和社会进步提供强有力的支持[9]。

五、结语

随着科技的发展，人们对于美好生活的追求也不断提升，电力系统的稳定运行至关重要。通过分析农配网工程的特点，可以看出当前我国农配网工程安全质量管理仍然存在一些问题和挑战。针对这些问题，要充分利用信息化手段，不断提升安全质量管理的水平[10]。在项目的实际实施中，应严格依照有关规定的要求，完善监控体系，对农村配电网络项目进行实时监控，及时发现并解决存在的问题，保证农村电网建设的成功。

参考文献

[1]胡苗苗，石力. 供电企业配农网工程财务数智化管理策略研究［J］. 金融文坛，2024,(03):84-86.

[2]方勇，曹刚，穆宜，等. 基于全链条过程管控模式的电网企业配网工程管理提升落地实践［J］. 中外企业文化，2024,(01):88-90.

[3]楚志刚，张松刚，张锋，等. 全专业协同全要素发力实现农配网管理新跨越——新形势下县域农配网精益管理专题研究［J］. 河南电力，2023,(06):54-55.DOI:10.19755/j.cnki.hnep.2023.06.023.

[4]董冰. 农网工程质量风险评价研究［D］. 郑州大学，2021.DOI:10.27466/d.cnki.gzzdu.2021.005332.

[5]韩培强，胡而已，王陈书略，等. 矿山智能供电数据应用规范构建研究［J］. 中国煤炭，2024,50(06):90-97.DOI:10.19880/j.cnki.ccm.2024.06.012.

[6]张磊，孟昭平，岳洪水，等. 中药工业智能制造转型模式及监管问题探讨［J］. 中国医药导刊，2024,26(02):129-138.

[7]张才超. 基于胜任力模型的A企业中层管理者培训研究［D］. 安徽财经大学，2024.DOI:10.26916/d.cnki.gahcc.2024.000052.

[8]于晓然. 基于双区块链的装配式建筑部品部件溯源系统构建［J］. 河北建筑工程学院学报，2023,41(03):132-138.

[9]刘玲莉，万佳莉，周秋阳. 基于行业热点的安全工程培养体系建设思考——以中国民航大学安全工程专业为例［J］. 高教学刊，2023,9(S1):1-8.DOI:10.19980/j.CN23-1593/G4.2023.S1.001.

[10]罗茜茜. 基于文本数据的安全生产事故自分类模型与风险预控研究［D］. 中国矿业大学，2023.DOI:10.27623/d.cnki.gzkyu.2023.000148.

风险控制在核电厂安全管理中的运用研究

姚山进

阳江核电有限公司，广东 阳江 529500

摘　　要： 核电厂由于自身行业特点，在日常工作中风险系数较高，因此，更要加大安全管理力度，做好风险控制，来最大限度的降低安全事故的发生几率，促使我国核电事业实现长远发展。调查研究显示，事故的发生主要由于现场安全管理不规范、违章操作、安全监管不到位等问题所致。本文旨在探讨风险控制在核电厂安全管理中的应用，通过风险识别、风险评估、风险预控和持续改进等步骤，构建全方位、全过程的安全管理体系，确保核电厂安全稳定运行。

关 键 词： 风险控制；核电厂；安全管理；基本运用；基本程序

Research on the Application of Risk Control in Nuclear Power Plant Safety Management

Yao Shanjin

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

Abstract: Due to the characteristics of the industry, nuclear power plants have a high risk factor in daily work. Therefore, it is more necessary to strengthen safety management and do a good job in risk control to minimize the incidence of safety accidents and promote the long-term development of China's nuclear power industry. The investigation shows that the occurrence of the accident is mainly due to the site safety management, illegal operation, safety supervision and other problems. This paper aims to explore the application of risk control in the safety management of nuclear power plants, and through risk identification, risk assessment, risk pre-control and continuous improvement to build a comprehensive and whole-process safety management system to ensure the safe and stable operation of nuclear power plants.

Keywords: risk control; nuclear power plant; safety management; basic application; basic procedures

引言

核电厂运行过程中，安全管理极为重要，但是，基于核电厂结构复杂，运行设备多样的情况，导致核电厂运行存在较多的安全风险问题，尤其是核电厂设备大部分为高温，导电设备，能源也具有易燃易爆炸的风险。核电厂运行过程中，如果安全管理效果较差，将会严重影响到核电厂运行，造成安全事故。作为高危行业，核电厂的安全管理直接关系到人员安全、环境安全和社会稳定，随着技术的不断进步和管理的日益规范，风险控制在核电厂安全管理中的作用日益突出，本文将讨论风险控制的内涵、基本程序以及在核电厂安全管理中的具体应用[1]。

一、风险控制的基本内涵与程序

（一）风险控制的基本内涵

风险控制作为核电厂安全管理的核心策略，具有深远而广泛的内涵，不仅是一种应对风险的手段，更是一种前瞻性的管理理念，强调在风险发生之前，通过系统的分析和预防，实现核电厂的安全运行。风险控制显然是预防性的，这意味着在核电站的日常运行中，管理者需要时刻保持警惕，积极识别和评估可能的风险因素。通过早期干预和介入，制定和实施有效的预防措施，将风险扼杀在萌芽状态，从而避免事故的发生，这种预防性的思维方式要求管理者具有高度的责任感和敏锐的洞察力，能够及时发现和处理潜在的安全威胁[2]。核电厂是一个复杂的系统，其安全运行涉及许多方面和环节，风险控制需要从整体出发，综合考虑各种因素的相互作用和影响，通过构建全面的风险管理体系，将风险识别、评估、预控和处理改进紧密联系起来，形成闭环管理流程，有助于确保风险控制的全面性和有效性，提高核电厂的整体安全管理水平。随着技术的不断进步、环境的变化和管理要求的提高，核电厂面临的安全风险也在发生变化，风险控制需要保持高度的灵活性和适应性，能够及时调整和优化风险管理策略。通过持续监测和评估风险的变化趋势，可以及时发现和应对新的

作者简介：姚山进（1985.11-），男，汉，江苏如皋，大学本科，工程师，研究方向：电力运行，核安全。

风险挑战，以确保核电厂的安全运行始终处于受控状态[3]。

（二）风险控制的基本程序

1.风险识别

风险识别是风险控制的第一步，也是最关键的一步，在核电厂的安全管理中，风险识别要求管理者对核电厂的各个方面进行全面深入的调查和分析，以发现可能存在的风险因素，这包括但不限于设备故障、人为失误、自然灾害、恐怖袭击和其他类型的风险。为了保证风险识别的准确性和全面性，管理者需要采用多种方法和手段，如现场检查、数据分析、专家咨询等，以便获得尽可能多的信息和数据[4][5]。

2.风险评估

风险评估要求管理者对已识别的风险因素进行定量分析，评估其发生的可能性和潜在后果的严重程度，这通常涉及对风险因素的性质、特征和影响范围的综合考虑。通过构建风险评估模型，运用科学的方法和工具进行定量计算和分析，得出风险等级和优先排序，这有助于管理者明确风险管理的重点和方向，为制定有效的风险预控措施提供科学依据[6]。

3.风险预控

在核电厂的安全管理中，风险预控要求管理者根据风险评估的结果制定并实施有效的预防措施，这些措施应根据具体风险因素的特点和评估结果，具有针对性、可行性和有效性，比如对于设备故障的风险，可以加强设备维护和检修；针对人为失误的风险，可以提高人员的培训水平和操作技能；鉴于自然灾害风险，可以改进应急计划和应急演习。同时，为了保证风险预控措施的有效实施，需要建立健全监督管理机制，对预控措施的实施进行跟踪、检查和评估[7]。

4.处理改进

处理改进是风险控制的最后环节，是持续提升安全管理水平的重要途径，核电厂安全管理中的改进工作主要包括安全事故的及时响应和处理、风险预控效果的评估和总结、安全管理体系的持续优化和改进。通过深入分析安全事故的原因和教训，提出有针对性的改进措施；通过定期回顾和评估风险管理的全过程，总结经验教训，不断完善风险管理机制，有助于提高核电厂的安全管理水平，确保核电厂长期稳定运行[8]。

二、风险控制在核电厂安全管理中的运用存在问题

（一）技术复杂性与设备老化

在核电厂安全管理中，技术复杂性和设备老化是两个不可忽视的问题，对风险控制提出了严峻挑战，随着科学技术的进步，核电厂的技术系统日益复杂，涉及许多领域和学科的交叉融合，这种高度的技术复杂性要求管理人员和操作人员具备深厚的专业知识和丰富的实践经验，才能准确理解和处理各种技术问题。但在现实中，技术人员的培训和能力提升往往难以跟上技术发展的步伐，导致在处理复杂技术问题时出现疏漏和失误，增加了风险的可能性。同时，设备老化也是核电站面临的一大风险，核电站的设备大多是大型、高精度、长寿命的设备。随着运行时间的增加，设备的性能会逐渐下降，出现磨损、老化等问题，这些老化的设备不仅降低了工作效率，还可能引发各种故障和事故。核电站虽然定期对设备进行维护和检修，但由于设备数量多、维护成本高、技术难度大，往往难以做到全面及时的维护和更新，因此，设备老化已经成为核电站风险控制中不可回避的问题。

（二）道德风险与公众信任丧失

道德风险主要来源于人员的主观因素，包括不负责任的工作态度、违反规章制度、为个人利益牺牲公共安全的行为，这些行为不仅可能直接导致安全事故，还可能损害核电站的声誉和公众信任，公众一旦对核电站的安全管理失去信心，将很难恢复，对核电站的长期运行和发展将产生深远的影响。此外，公众信任的丧失也是核电站面临的一大挑战，由于核能技术的特殊性和历史原因，公众往往对核电站有一定的疑虑和担忧，安全事故或安全事故一旦被媒体过度夸大，会迅速引发公众恐慌和不满，导致对核电站的信任度急剧下降，这种信任危机不仅会影响核电站的正常运行，还会造成社会动荡和不稳定，如何加强道德风险的防控，重建公众信任，是核电厂安全管理中亟待解决的问题[9]。

（三）法规政策与监管不足

法律法规、政策和监督机制是确保安全的重要基石，但现实中法律法规、政策、监管不到位的问题依然存在，给风险控制带来很大困难。一方面，随着核能技术的不断发展和应用范围的扩大，现有的法律法规往往难以跟上技术发展的步伐，造成安全管理方面的法律空白和漏洞，这就让一些不法分子或非法经营者有机可乘，增加了安全事故的风险。另一方面，监督机制的缺失也是风险控制效果不佳的重要原因，监督机制的缺陷主要体现在监督力量薄弱、监督手段单一、监督效率低下。由于核电厂的安全管理涉及多个部门和领域，需要多个部门的配合，形成有效的监管力量，但现实中往往存在部门间沟通不畅、协调不畅等问题，导致监管工作难以落实。此外，监督手段的单一也限制了监督的有效性，目前大部分监管工作仍依赖于传统的现场检查和抽查，难以实现对核电厂全过程的实时动态监管，这使得一些安全隐患难以及时发现和纠正，增加了安全事故的风险。

三、风险控制在核电厂安全管理中的具体应用

（一）电气设备的安全管理

在核电厂的安全管理体系中，电气设备的安全管理占有举足轻重的地位，电气设备作为核电厂运行的核心部件，其稳定性和可靠性直接关系到整个电厂的安全运行，对电气设备实施全面细致的安全管理非常重要。电气设备的安全管理需要建立健全的设备档案和定期维护制度，应对每台电气设备建立详细的档案，记录其型号、规格、制造商、安装日期、维修记录等关键信息。同时，根据设备的运行状况和使用寿命，制定科学合理的维护保养计划，定期对设备进行检查、保养和维修，确保设备处于良好的运行状态，对发现的问题和隐患，要及时处理和整改，防止问题扩大。通过安装先进的监控设备和技术手段，对电气设备的运行状态进行实时、连续的监控，及时发现设备的异常情况，建立完

善的预警系统，对可能引发安全事故的风险因素进行预警和报警，以便及时采取措施进行干预和控制。此外，电气设备的运行管理人员也是安全管理的重要组成部分，要加强对操作人员和管理人员的培训教育，增强他们的专业技能和安全意识，制定严格的操作规程和安全管理制度，明确岗位职责和操作要求，确保操作和管理人员能够严格遵守规章制度，正确、安全地操作和管理电气设备[10]。

（二）人员行为的安全管理

人员是核电厂运行管理的主体，他们的行为直接影响电厂的安全运行，必须加强人员行为的安全管理，确保人员能够遵守规章制度，规范操作行为。第一，加强人才培养和教育，通过定期的安全培训、技能培训和应急演练等活动，增强人员的安全意识和操作技能，使人员充分认识到安全工作的重要性，掌握正确的操作方法和应急处理技能，提高应对突发事件的能力。第二，建立完善的安全管理体系和奖惩机制，制定详细的安全管理制度和操作规程，明确人员的岗位职责和安全要求。同时，建立严格的奖惩机制，对遵守规章制度、表现良好者进行表彰奖励，对违章违纪、造成安全事故的，严肃处理，以儆效尤。此外，加强对人员行为的监督检查，通过设立专门的监督机构或岗位，对人员的操作行为进行实时监督检查，发现问题，及时纠正，并记录在案，作为考核和奖惩的依据，同时鼓励员工相互监督、相互提醒，形成全员参与安全管理的良好氛围。

（三）环境因素的安全管理

环境因素也是不可忽视的重要因素之一，环境因素包括自然环境因素（如地震、洪水、台风等）和人为环境因素（如辐射、噪声、污染等），这些因素可能对核电厂的安全运行产生不利影响，因此，必须加强环境因素的安全管理。通过安装先进的监测设备和技术手段，对可能影响核电厂安全运行的自然环境因素进行实时监测和预警，一旦发现异常情况，应及时采取措施进行干预和控制，防止事态升级。对于辐射、噪声、污染等人为环境因素，应采取有效的控制措施，比如加强辐射防护，降低噪音水平，减少污染物排放，同时，建立完善的监测和检测机制，定期对人工环境因素进行检测和评估，确保符合相关标准和要求。此外，加强对环境因素的应急能力，制定详细的环境因素应急预案和应急响应流程，明确应急响应的组织机构、职责分工和处置措施，通过定期的应急演练和培训活动，提高员工的应急能力和应急处置能力，确保由环境因素引起的安全事故能够得到快速有效的处理和控制。

四、结语

总而言之，随着我国核电事业不断发展壮大，我国核电厂由于自身实际情况，在开展日常生产的过程中安全隐患较多，对工作人员人身安全造成较大威胁。针对此，核电厂需在日常开展管理的过程中，加大安全管理力度，将风险控制引入到安全管理中，利用其中的风险识别、风险评估、风险预控以及风险处理等方式，来提升核电厂安全管理水平，减少安全事故的发生几率，促进我国核电事业实现良性循环，进而能够更好的带动我国社会主义现代化建设顺利进行。

参考文献

[1]赵耀，霍雨佳，王军，等. 核电厂安全级仪表在线监测系统技术研究［J］. 核动力工程，2021,42(02):183-187.

[2]冯献灵，薛广宇. 核电厂安全运行对策研究［J］. 设备管理与维修，2020,(20):130-131.

[3]刘学科，谭平. 基于核电厂DCS系统信息安全管理体系研究［J］. 仪器仪表用户，2022,29(04):62-65.

[4]罗浩亮. 核电厂起重机安全监控管理系统的应用［J］. 中国特种设备安全，2022,38(01):28-31.

[5]袁达. 隐性核安全文化对核电站员工安全行为的影响研究［D］. 南华大学，2022.

[6]于洋，李源，吴静，等. 高温气冷堆核电厂事故规程体系分析［J］. 核安全，2022,21(02):76-83.

[7]陈智. 核电运行安全问题与防控策略研究［J］. 产业与科技论坛，2022,21(16):204-205.

[8]钟红伟，高福利. 某核电厂（站）内新建机组排水井隧工程安全管理简析［J］. 中国设备工程，2023,(05):65-67.

[9]陈建华，雷润寰. 基于文本挖掘的核电运行事件致险因素分析［J］. 南华大学学报(社会科学版),2023,24(02):1-8.

[10]王常明. 核电厂安全生产责任体系建设的探究［J］. 劳动保护，2023,(06):91-93.

浅谈电力安全评价程序的优化

王海明

深圳中质安股份有限公司，广东 深圳 518107

摘　　要： 随着工业化和城市化的快速发展，各类安全问题也日益凸显，安全评价已成为保障企业、行业和社会系统安全运转的重要手段之一。通过探讨安全评价程序的优化策略，可以提升安全评价工作效率和精准性，确保实现更佳的事故风险（隐患）管控。笔者结合工作实际，在遵循安全评价现行的程序模型的基础上，分析了目前安全评价程序落地过程中存在的典型问题，提出了进一步优化安全评价程序的设想，并探讨了实施这些构想可能遇到的挑战及应对措施。

关 键 词： 安全评价；程序优化；风险管理；挑战及应对措施

On the optimization of Safety Evaluation Procedure

Wang Haiming

Shenzhen zhongzhian Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518107

Abstract: With the rapid development of industrialization and urbanization, various safety issues have become increasingly prominent, and safety evaluation has become one of the important means to ensure the safe operation of enterprises, industries, and social systems. By exploring optimization strategies for safety evaluation procedures, the efficiency and accuracy of safety evaluation work can be improved, ensuring better control of accident risks (hidden dangers). Based on practical work experience and following the current program model of safety evaluation, the author analyzed the typical problems that exist in the implementation process of safety evaluation programs, proposed ideas for further optimizing safety evaluation programs, and explored the challenges and countermeasures that may be encountered in implementing these ideas.

Keywords: safety assessment; program optimization; risk management; challenges and countermeasures

引言

在现代社会的快速发展中，安全始终是我们不能忽视的议题。纵观各行各业，小到衣食住行，大到企业、社区、行业及社会方方面面，都以安全为第一要义。安全评价显得尤为重要。随着科技进步和社会变迁，新技术、新思路的不断涌现，传统的安全评价程序亟待优化，不仅是提升安全管理水平的必然选择，也是保障人民生命财产安全的有效途径。

一、安全评价程序概述

现行《安全评价通则》（AQ 8001-2007）中已明确了安全评价工作程序的基本原则，安全评价工作程序主要包括：前期准备，辨识与分析危险因素和有害因素，划分评价单元，定性、定量评价，提出安全对策措施建议，得出安全评价结论，编制安全评价报告。安全评价通则中列出了安全评价每个阶段的主要工作内容。安全评价通则对现阶段安全评价有序、有效开展提供了指南。[1][2][3][4][6][7]

二、现行安全评价程序的挑战

（一）现行安全评价程序中存在的效率问题

在我们开展安全评价过程中，安全评价工作程序优化的重要性不容置疑。在复杂多变的环境中，事故风险（隐患）无处不在，而一个科学、合理的安全评价程序能够帮助我们及时发现潜在的风险点，采取预防预控措施，从而避免或减少事故的发生。优化后的安全评价工作程序有助于我们更加精准地识别风险，更高效地进行风险管控，为社会的稳定发展提供坚实的安全保障。

（二）现行安全评价程序中的准确性和可靠性问题

已制定的安全评价程序在实际操作中可能存在不足之处处。首先，评价的准确性依赖于获取各类数据（信息）的质量、数量和完整性，而数据（信息）收集往往存在一定的局限性，可能导致评价结果存在一定的偏差。其次，安全评价工作通常需要专业知识和技术的支撑，可能因为专业人才短缺或工作经验不足而影响到安全评价的深度和广度。此外，随着时间的推移和环境的变化，可能会出现新的风险，而评价人员无法及时适应这些变化。另外，评价人员在工作过程中会受到可利用资源的限制，尤其在

作者简介：王海明（1967.09-），男，辽宁朝阳人，蒙古族，本科，工程师，从事安全评价技术服务、应急管理咨询和应急预案评审等工作。

项目预算紧张和被评价方对项目要求时间短等诸多压力下，可能会被迫删减必要的安全评价步骤。最后，企业安全文化氛围也可能影响安全评价的实施，如果技术服务单位管理层对安全投入不够重视，安全文化建设欠缺，均难以按规定程序执行到位。

（三）安全评价程序操作的不足

1. 安全评价程序中部分规定死板，可能存在操作误区

安全评价技术规范中虽然规定了安全评价程序原则，且规定了各阶段的工作重点。但是在实际安全评价工作中，部分工作内容并没有明显的时限界限。以安全评价准备阶段为例，其中工作任务之一是资料收集。众所周知，资料收集贯穿在安全评价全过程。在合同签订后提供《被评价单位需提供的资料清单》，在现场勘查时会对照清单提出补充需求，后续报告编制完成各阶段再次补充完善资料。此外由于安全评价时间跨度较大甚至持续二至三年，个别项目地域跨度大，项目单位前期提交的部分法定检测或校准报告会存在超期失效的情况，后期整改证实材料也是最终提交的重要资料。[8]

2. 安全评价程序部分要求需适时调整

目前政府监管文件和安全评价技术规范中均明确规定了安全评价人员到现场开展勘查和调查。安全评价人员亲临现场，开展既定评价工作任务、收集第一手证实资料是完全必要的。但随着技术手段的进步，特别是网络技术的广泛应用，有必要重新审视“现场评价”工作方式。在现行法规、标准规定的基础上，适当补充利用网络媒介、多媒体信息技术、远程计算机技术等辅助手段进行勘测、调查，即“线下为主 线上为辅”，对具体工作区别对待。比如前期资料文审、现场整改情况复核等均可以通过视频会议、远程联机等方式进行，在不违规的前提下更方便开展工作，又可以提高工作效率，还可以降低项目财务成本和时间成本。但应杜绝“线上替代线下”现象。这就要求技术服务单位严格自律，政府部门加强监管，行业协会加强监督，以防现场评价工作因“线上替代线下”而流于形式、弄虚作假等新弊端。

（四）安全评价程序需要持续改进

安全评价程序优化工作任重道远，是一个循序渐进、持续改进的过程。随着新技术、新媒介、新思维的不断更迭，安全评价程序模型也需要逐步完善和优化。其次，通过持续改进可以激励安全评价从业人员不断学习新技术、利用新技术、领会新思路，掌握新方法。此外，通过定期审查和改进安全评价程序，可以提高事故风险识别的准确性和风险控制措施的有效性。通过评价程序持续改进，还能加深员工对安全文化的认识和参与度。通过安全评价程序合理优化，建立一个循环反馈、持续改进的机制，确保安全评价工作长期有效运行。[5]

三、安全评价程序优化设想

（一）适时修订完善现行安全评价技术标准

现行《安全评价通则》为2007年发布实施，对安全评价程序仅提出了原则性要求，通则中仅给出了每阶段工作的要点。安全评价通则发布至今，安全评价技术发展，尤其是网络技术、多媒体信息技术在评价活动中的融合，对各阶段工作重点、工作形式赋予新的内涵，亟需优化评价程序以契合发展变化趋势，提出更具指导性的规范要求，条件具备时应组织专题研究，对安全评价程序做出更具体的规定。

（二）吸取各家之长，优化安全评价过程控制

充分挖掘各安全评价技术服务单位、安全技术研究机构的潜力，集思广益，优化安全评价过程控制策略。

笔者调查现阶段安全评价技术服务单位通用的情况可见，各相关安全技术服务机构在开展安全评价活动中，均遵循现行规定和技术规范要求，将各关键工作节点的工作要求转化成一套（簇）管理表单，可执行性相对较强。例如，在安全评价准备阶段生成的表单记录中，至少包括了《安全评价任务通知单》《安全评价任务分工单》《安全评价工作计划书》《需要收集/提供的资料清单》《现场勘察记录表》等；在提出安全对策措施阶段生成《不符合项目告知书》《现场整改复查情况表》等；在编制安全评价报告阶段分别生成《内审记录表》《技术负责人审核记录表》《过程控制负责人审核记录表》等。[8-9]

综上所述，如何进行安全评价程序的优化，还涉及以下几方面的改进要求：

首先，优化安全评价程序需要遵循相关法律法规体系和安全评价技术标准规范的要求。细化安全评价技术标准和现场工作指导书、安全评价工作流程，确保安全评价工作按既定程序规范有效地开展。

安全评价技术不断创新。随着信息化技术的发展，大数据分析方法逐渐推广应用、人工智能开发利用等新型技术手段逐渐融合和广泛应用于安全评价工作中。借助这些新技术，我们可以对收集到的大量数据进行快速处理和分析；安全评价人员接受新思维、通过新视角，从而准确、快速地预测和评估安全风险。

评价技术人员培训跟进。安全评价工作的专业性强，要求安全评价相关技术人员具备足够的专业知识和实践经验。加强对安全评价从业人员的培训，提升他们的安全评价技术和专业技能，是优化安全评价程序不可或缺的一环。

持续改进。安全评价程序的优化是一个持续改进的动态发展变化过程，不可操之过急。通过我们不断总结经验教训，适时优化安全评价的方法，改进评价工作流程，以适应不断变化的安全环境。

全员参与理念。安全评价程序持续优化和改进，需要安全技术服务机构、各行各业安全专家及公众的参与。通过建立公众参与机制，可以让更多的人了解安全评价工作的重要性，同时汲取更多来自一线安全评价技术人员的宝贵经验和合理化建议，使安全评价程序改进更加提升，贴近工作实际，更具操作性。

（三）充分融合新技术、新装备

随着信息技术、虚拟现实技术的不断进步，引入技术创新理念、转化技术创新成果已成为提高安全评价效率的关键途径。例如，利用大数据分析可以处理海量的、复杂的数据，从而更准确地识别风险模式和预测潜在的安全问题。人工智能和机器自学习技术能够自动分析历史事故数据，为安全评价提供更深入辅助。

此外，物联网技术和装备、终端采集设备的普及使得实时监控、实时抓取信息成为可能，通过持续收集（采集）现场数据，安全评价可以由“静态”模式过渡到“动态和实时”模式。无人机和虚拟现实（VR）技术也会在安全评价中发挥作用，实现远程检查、监察和模拟高风险环境，降低评价人员直接暴露于危险中的频次，甚至不再需要评价人员“身临其境”。此类技术创新不仅提高了安全评价的效率和效果，更有助于降低评价成本、提高安全评价工作本身的“安全性”。积极探索和应用新技术，对于提升安全评价的现代化水平至关重要。

四、面临的挑战与应对策略

（一）在优化安全评价程序的过程中，可能会遇到来自多方面的阻力

一是可用资源的限制。由于时间与经济成本的约束，可能导致无法采用最佳的技术或方法。

二是评价技术服务机构企业文化制约。特别是管理层和部分基层员工对于改变固有思维、变更已有工作程序，会产生不配合、抵触情绪，或缺乏改进动力，被动应付而难以推进。

三是技术、资源的挑战。新技术融合可能需要增加投入，甚至额外组织培训、试用、试行和磨合，安全评价技术人员可能对此感到不适应或担忧，在从事安全评价工作时产生抵触、被动等情况。

四是合规性问题。有些优化措施可能受到现行法律法规的限制。

五是数据安全、信息安全问题，尤其是在涉及个人信息、敏感现场区域的情况下均会受到信息安全管理要求的制约。为此需要综合考虑资源再分配、协调信息安全技术的支持、遵循法律法规以及数据安全防护等多方因素，需要各方参与并创造条件，推进安全评价程序的优化进程。[10]

（二）呼吁政府部门、技术标准编制单位提供支持

为了不断提升安全评价的质量和效果，需要政策制定者提供坚定的支持。建议在现行的安全评价通则和安全评价导则基础上，尽快研究并颁布适宜的安全评价程序规范。明确安全评价流程、从业人员责任分配、技术要求、数据安全管理以及持续改进。通过建立标准化的工作程序，可以确保各行各业在进行安全评价时有明确的指导原则和操作标准，减少安全评价主观性和随意性。同时，相关政策制定部门应综合考量，为实施这些规范提供必要的资源和培训、技术支持，鼓励和推进安全评价程序优化进程。

五、结论

安全评价程序优化与否决定了安全评价全过程是否可控，安全评价整体工作质量是否满足预期。因此，研究安全评价持续优化策略非常必要。本文结合工作实际，分析了安全评价程序现状，结合实际工作中的体会提出了几点优化设想。希望为政府监管部门、安全技术研究单位的相关工作提供参考。在不断持续改进的基础上，使安全评价程序要求更契合现场安全评价工作的需要，提升安全评价工作的整体质量和工作效率。

参考文献

[1]杨富，王浩，陈江，等 AQ 8001-2007 安全评价通则［S］.

[2]加油加气站安全评价报告［Z］. 豆丁网. 互联网文档资源. 2015.（http://www.docin.com）

[3]赵艳艳. 关键任务作业指导书在矿山安全标准化系统中的应用［J］. 采矿技术. 2017-03-15.

[4]安全生产事故案例分析重点［Z］. 互联网文档资源. 2016.（http://wenku.baidu.c）

[5]孙连捷. 安全评价和安全评价程序的论述［J］. 劳动保护科学技术. 1999,19(1):24-27.

[6]王浩，阴建康，任建国，等 AQ 8002-2007 安全预评价导则［S］.

[7]陈江，周北驹，任建国，等 AQ 8003-2007 安全验收评价导则［S］.

[8]赵忠会，王艺兵，姚云龙，等 NB/T 35014-2013 水电工程安全验收评价报告编制规程［S］.

[9]田在望，徐宏杰，段慧琳，等 NB/T 32038-2017 光伏发电工程安全验收评价规程［S］.

[10]马力，任卫红，李明，等 GB/T 22239-2008 信息安全技术 信息系统安全等级保护基本要求［S］.

燃机电厂安全管理研究

朱怡霖，潘姜冬，张璐瑶

国电投（江门）能源发展有限公司，广东 江门 529300

摘　　要： 随着能源需求的不断增长和电力行业的快速发展，燃机电厂作为电力生产的重要组成部分，其安全管理问题日益凸显。本文旨在深入探讨燃机电厂安全管理的现状、存在的问题以及改进策略，以期为燃机电厂的安全稳定运行提供理论支持和实践指导。通过对燃机电厂安全管理制度、组织机构、教育培训、安全检查与隐患排查等方面的分析，本文揭示了当前燃机电厂安全管理面临的挑战和机遇，并提出了相应的改进措施和建议。

关 键 词： 体系构建；改进策略；安全管理

Research on safety management of gas turbine power plant

Zhu Yilin, Pan Jiangdong, Zhang Luyao

Spic(Jiang Men)Energy Development Co.,Ltd. Jiangmen, Guangdong 529300

Abstract: With the continuous growth of energy demand and the rapid development of the power industry, as an important part of power production, the safety management of the plants has become increasingly prominent. The purpose of this paper is to deeply explore the current situation, existing problems and improvement strategies of the safety management of gas turbine power plant, in order to provide theoretical support and practical guidance for the safe and stable operation of gas turbine power plant. Through the analysis of the safety management system, organization, education and training, safety inspection and hidden trouble detection of gas turbine power plant, this paper reveals the challenges and opportunities facing the current safety management of gas turbine power plant, and puts forward the corresponding improvement measures and suggestions.

Keywords: system construction; improvement strategy; safety management

引言

本文旨在通过对燃机电厂安全管理现状的深入分析，结合国内外先进的安全管理理论和方法，提出一系列切实可行的安全管理措施和建议。本文的研究意义在于：一方面可以为燃机电厂的安全管理提供有益的参考和借鉴；另一方面可以促进电力行业安全管理水平的提高和发展。

一、燃机电厂安全管理现状

安全管理制度与标准

燃机电厂的安全管理制度与标准是保障电厂安全运行的基础。目前，大多数燃机电厂已经建立了一套相对完善的安全管理制度，包括安全生产责任制、安全操作规程、安全检查制度等。这些制度明确了各级管理人员和员工的职责和权限，规范了操作过程，确保各项安全措施得到有效执行。同时，为了保持制度的有效性和适应性，电厂还定期对制度进行修订和更新，以适应不断变化的安全管理需求。

然而，在实际执行过程中，仍存在一些问题。一些电厂的安全管理制度虽然完善，但执行力度不够，导致制度形同虚设。此外，部分电厂在制定制度时缺乏针对性和可操作性，使得制度在实际应用中难以发挥作用[1]。

二、燃机电厂安全管理的理论与方法

（一）安全系统工程理论

安全系统工程理论是运用系统工程的方法，对生产系统中的安全问题进行分析、评价、预测和控制的理论。在燃机电厂安全管理中，安全系统工程理论强调从整体出发，对电厂的各个环节、各个要素进行综合分析，找出可能存在的安全隐患，并采取相应的措施进行防范和控制。

（二）风险管理理论

风险管理理论是通过对风险进行识别、评估、控制和监控的过程，达到降低风险、减少损失的目的。在燃机电厂安全管理

作者简介：朱怡霖（1991.03-），男，广东江门人，汉族，本科，工程师，从事燃气发电厂技术研究。

中，风险管理理论的应用主要体现在对电厂可能面临的各种风险进行识别和分析，如设备故障、操作失误、自然灾害等，然后制定相应的风险应对措施和预案，以最大程度地减少风险对电厂安全的影响。

（三）事故致因理论

事故致因理论是研究事故发生的原因和机理的理论。在燃机电厂安全管理中，事故致因理论的应用主要体现在对电厂发生的事故进行深入分析，找出事故发生的根本原因和直接原因，并据此制定相应的防范措施和改进措施，以防止类似事故的再次发生。

（四）安全检查与隐患排查

安全检查与隐患排查是燃机电厂安全管理的重要方法。通过定期对电厂的设备、设施、管理等进行全面检查，发现可能存在的安全隐患，并及时进行整改和消除。同时，还需要建立隐患排查的长效机制，确保隐患排查的连续性和有效性。

（五）安全风险评估与控制

安全风险评估与控制是燃机电厂安全管理的重要方法。通过对电厂可能面临的各种风险进行识别、评估和控制，制定相应的风险应对措施和预案，以最大程度地降低风险对电厂安全的影响。同时，还需要建立风险评估的定期机制，对电厂的风险状况进行动态跟踪和评估。

（六）安全标准化建设

安全标准化建设是燃机电厂安全管理的重要方法。通过制定和执行一系列的安全标准和规范，确保电厂的生产和管理活动符合安全要求。同时，还需要加强安全标准的宣传和培训，增强员工的安全意识和安全操作技能。

（七）安全文化建设

安全文化建设是燃机电厂安全管理的长期任务。通过加强安全文化的建设，营造全员参与安全管理的氛围，增强员工的安全意识和责任感。同时，还需要加强安全文化的传播和宣传，使安全文化深入人心、融入日常。

综上所述，燃机电厂的安全管理需要依托先进的理论和科学的方法。通过运用安全系统工程理论、风险管理理论和事故致因理论等相关理论，以及安全检查与隐患排查、安全风险评估与控制、安全标准化建设和安全文化建设等方法，可以有效地提高燃机电厂的安全管理水平，确保电厂的稳定运行和人员的安全[2]。

三、燃机电厂安全管理体系构建

（一）燃机电厂安全管理体系构建的必要性

1.保障人员安全：燃机电厂涉及高温、高压、易燃易爆等危险因素，一旦发生事故，可能对人员造成严重伤害甚至死亡。构建安全管理体系能够有效地预防和控制这些风险，保障员工的生命安全。

2.确保设备安全运行：燃机电厂的设备复杂且昂贵，任何设备的故障或损坏都可能导致生产中断和巨大的经济损失。通过构建安全管理体系，可以规范设备的操作、维护和检修流程，减少设备故障，延长设备使用寿命。

3.提高生产效率：安全事故往往会导致生产中断，影响电厂的正常运行。通过实施安全管理体系，可以减少事故发生的可能性，从而保证生产的连续性和稳定性，提高生产效率。

4.符合法律法规要求：各国政府对工业生产安全都有严格的要求和监管。构建安全管理体系有助于电厂遵守相关法律法规，避免因违规操作而面临的法律责任和经济处罚。

5.提升企业形象和竞争力：一个重视安全管理、事故率低的电厂往往能够获得更好的社会声誉和客户信任，从而提升其市场竞争力。同时，安全管理也是企业社会责任的重要体现，有助于提升企业的品牌形象。

6.促进持续改进：安全管理体系不仅包括预防措施，还包括事故应对和纠正措施。通过对安全事故的调查和分析，可以发现管理体系中的不足，并采取相应措施进行改进，从而实现电厂安全管理的持续优化。

（二）燃机电厂安全管理体系构建的原则

1.安全第一，预防为主：

安全应始终被置于首位，任何经济活动和生产任务都应以保障安全为前提。

通过科学的管理和积极的预防措施来降低事故发生的可能性，实现事故的预防和应急处置。

2.科学性原则：

安全管理体系的构建需要以科学的态度和方法为基础，确保所建立的安全管理制度和程序科学合理，能够持续开展有效的安全管理。

3.规范性原则：

安全管理体系的构建必须符合国家法律法规和相关标准要求，确保企业在实际操作中严格遵守规定，不违法违规。

4.连续性原则：

安全管理体系需要持续改进和完善，不是一个静态的系统，而应随着企业发展和外部环境的变化不断调整和优化。

5.全面性原则：

安全管理体系应覆盖企业的所有环节和管理层面，确保从高层管理到一线员工，每个人都明确自己的安全责任和义务。

6.综合治理与诚信守法：

应综合考虑安全生产的各种影响因素，协调资源，进行协同管理，以全局的视角控制安全风险。

企业应遵守相关法律法规，加强内部合规管理，提升企业的诚信水平。

7.针对性原则：

安全管理体系应针对燃机电厂的具体特点和实际情况进行构建，以确保其适用性和有效性。

（三）燃机电厂安全管理体系的构建步骤

1.明确组织结构和职责：

根据电厂的规模和业务特点，调整并明确组织结构和各岗位的职责。

设立专门的安全生产管理岗位，并赋予相应的职责和权限，

以确保安全管理体系的有效运行。

2.制定安全管理制度：

制定和完善适用于电厂运行的安全管理制度和规章制度，包括安全生产责任制、安全操作规程等。这些制度应规范安全生产工作的各项要求和操作流程，为安全管理提供明确的依据。

3.加强人员管理：

通过招聘、培训和考核，确保员工具备必要的专业知识和技能，能够胜任安全管理工作。定期对员工进行安全培训，增强他们的安全意识和操作技能。

4.实施安全检查和隐患排查治理：

定期开展安全生产检查，包括对设备的巡视、维护和保养，以及对操作人员的操作规范和安全操作程序的检查。加强危险源辨识和风险评估，及时发现和识别潜在的危险源和风险点，并采取相应的措施进行控制和管理。对于检查和排查出的隐患和问题，要制定整改计划和措施，并明确责任人和整改期限。

5.建立安全预警和应急响应机制：

利用先进的监测设备和技术手段，建立安全预警机制，对可能影响生产安全的因素进行预警和预测。

制定完善的应急预案，包括火灾应急预案、停电应急预案等，并定期组织安全演练，提高应对突发事件的能力和应变能力。

6.持续监督和改进：

加强对安全生产的监督和管理，包括对各岗位人员的安全操作行为的监督，对设备和设施的监测和检测，以及对安全制度和规范的执行情况的监督。

根据实际情况和安全管理的效果，持续改进和优化安全管理体系，确保其适应电厂发展的需要。

四、燃机电厂安全管理体系的评估与改进

（一）评估阶段

1.评估目的

识别现有安全管理体系中的不足和潜在风险，评估安全管理措施的有效性和适用性。为改进提供数据支持和方向指引。

2.评估方法

模糊综合评价法：通过专家打分、层次分析法等方法确定各指标的权重，对影响系统风险的因素进行综合评价。

《火力发电厂安全性评价》：针对生产设备系统、劳动安全和作业环境以及安全管理三个方面进行危险辨识，以防止人身事故、特大和重大设备事故及频发事故为重点。

定量风险评估方法：根据电厂的实际情况，建立风险评估指标体系，对电厂进行定量风险评估。

3.评估内容

设备管理：评估设备老化程度、维护保养情况、运行状态等。

人员管理：评估操作人员的技能水平、培训情况、安全意识等。

安全管理：评估安全管理制度的完善程度、责任落实情况、安全检查和巡视的频次和质量等。

环境保护：评估电厂的污染物排放情况、环保设施的运行情况等。

4.评估结果

汇总评估数据，形成评估报告。

分析评估结果，识别存在的问题和不足。

（二）改进阶段

1.改进方向

根据评估结果，确定改进的重点和方向。重点关注设备老化、操作人员技能不足、安全管理不严格、环境保护措施不到位等问题。

2.改进措施

设备管理：定期进行设备检修和维护，及时更换老化和磨损严重的设备。

建立健全的设备维护计划和记录，明确责任人。

加强设备运行数据的监测和分析，提前识别设备故障的迹象，采取预防措施。

人员管理：加强操作人员的培训和考核，增强其技能水平和安全意识。

制定详细的操作规程和应急预案，并进行定期的演练和实操。

建立经验分享和学习机制，鼓励操作人员相互学习和交流。

安全管理：完善安全管理制度和规章制度，明确责任分工和管理流程。

加强安全检查和巡视，及时发现和纠正存在的安全隐患。

强化安全文化建设，注重员工安全教育和培训。

环境保护：加强环境监测和数据记录，确保污染物排放达标。

推行清洁生产技术和设备，减少废气、废水和固体废物的排放。

3.改进效果

跟踪改进措施的实施情况，评估改进效果。通过数据分析、员工反馈等方式，验证改进措施的有效性。

持续改进和优化安全管理体系，确保电厂的安全生产[3]。

五、结论与展望

（一）本文的主要研究结论

通过对燃机电厂安全管理的深入研究，本文得出以下主要结论：

首先，建立健全的安全管理体系是燃机电厂实现安全稳定运行的基础。通过实施安全风险评估、加强安全监督检查、推进安全文化建设等一系列措施，可以有效地提高电厂的安全管理水平，降低事故风险。

其次，强化组织领导、加大安全投入、加强技术创新和建立应急管理体系是保障燃机电厂安全管理工作顺利实施的关键。这

些保障措施不仅有助于提升电厂的安全管理效率，还能为电厂的可持续发展提供有力支持。

最后，安全管理的实施需要全员参与，每个员工都应具备高度的安全意识和责任感。通过加强安全教育培训，提高员工的安全操作技能和安全意识，可以有效地降低人为因素对电厂安全的影响。

（二）燃机电厂安全管理未来的发展方向

随着科技的不断进步和安全管理理念的更新，未来燃机电厂安全管理体系将更加智能化、精细化。例如，利用大数据、物联网等先进技术，可以实时监测设备的运行状态，及时发现并处理安全隐患，提高安全预警的准确性和时效性。同时，随着员工安全意识的提升和安全文化的深入人心，燃机电厂的安全管理水平将得到进一步提升。此外，随着国家对安全生产监管力度的加强，燃机电厂将面临更加严格的安全标准和要求。因此，电厂需要不断完善和优化安全管理体系，以适应新的安全形势和挑战。未来，燃机电厂安全管理体系的构建将更加注重实效性、可操作性和可持续性，为电厂的安全生产提供更加坚实的保障。

参考文献

[1]冯冰潇. 基于燃机电厂锅炉双预防安全管理评价工作的分析与探讨［J］. 西部特种设备，2023,6(02):60-64+71..

[2]张宗寅，马红艳，刘凯洋，等. 燃机电厂电气设备安全运行与维护策略分析［J］. 现代职业安全，2023,(10):45-47.

[3]王勇. 燃机电厂电气设备安全运行与维护研究［J］. 科技创新与应用，2018,(36):120-121.

发电厂安全管理体系优化探索

王涛

国家电投集团东北电力有限公司本溪热电分公司，辽宁 本溪 117000

摘　　要： 本文针对发电厂安全管理体系存在的问题，提出了优化设计方案。首先分析了当前发电厂安全管理体系的现状及不足，包括管理制度不完善、责任落实不到位、应急处置能力薄弱等。在此基础上，从组织结构、制度建设、风险管控、教育培训、应急管理等方面提出了优化措施。重点包括：完善安全生产责任制，建立全员参与的安全文化；构建风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制；强化员工安全技能培训；健全应急预案体系，提高快速响应能力等。通过实施优化方案，可有效提升发电厂本质安全水平，为安全生产提供有力保障。

关 键 词： 发电厂；安全管理体系；优化设计

Exploration of Optimization of Safety Management System in Power Plants

Wang Tao

Benxi Thermal Power Branch of State Power Investment Corporation Northeast Electric Power Co., Ltd. Benxi, Liaoning 117000

Abstract: This article proposes an optimized design scheme to address the problems in the safety management system of power plants. Firstly, the current status and shortcomings of the safety management system in power plants were analyzed, including incomplete management systems, inadequate implementation of responsibilities, and weak emergency response capabilities. On this basis, optimization measures were proposed from the aspects of organizational structure, institutional construction, risk control, education and training, emergency management, etc. The key points include: improving the safety production responsibility system and establishing a safety culture with full participation of all staff; Establish a dual prevention mechanism of risk classification control and hidden danger investigation and governance; Strengthen employee safety skills training; Establish a sound emergency response plan system and enhance the ability to respond quickly. By implementing optimization plans, the intrinsic safety level of power plants can be effectively improved, providing strong guarantees for safe production.

Keywords: power plant; safety management system; optimal design

引言

发电厂作为国民经济的重要基础设施，其安全生产直接关系到国家能源安全和社会稳定。近年来，随着电力需求的不断增长和发电技术的快速发展，发电厂的安全管理面临着新的挑战。尽管我国发电厂安全管理水平整体呈上升趋势，但仍存在一些亟待解决生产规模和复杂程度不断提高的问题，如安全管理制度不够完善、安全责任落实不到位、风险防控能力不足等。本研究旨在通过深入分析发电厂安全管理体系的现状及存在的问题，提出有针对性的优化设计方案。研究将从组织结构、制度建设、风险管控、教育培训、应急管理等多个维度入手，探讨如何构建更加科学、高效的安全管理体系。通过优化设计，不仅能够提高发电厂的本质安全水平，还能为电力行业乃至其他高风险行业的安全管理提供有益参考。[1]

一、发电厂安全管理体系优化设计研究的意义

发电厂安全管理体系优化设计研究的意义主要体现在三个方面：提升发电厂本质安全水平、促进经济效益与安全管理的协同发展，以及推动电力行业安全管理水平的整体提升。

（一）提升发电厂本质安全水平

发电厂安全管理体系的优化设计对提升电厂的本质安全水平具有重要意义。通过系统性的优化，可以从根本上减少安全隐患，降低事故发生率。优化后的安全管理体系能够完善风险识别与评估机制，强化安全防控措施，并提高应急响应能力。[2]例如，某火力发电厂引入了基于大数据和人工智能的风险预测模型，通过分析历史运行数据、实时监测数据和信息报警，对设备故障和安全事故进行预警，更加直观的呈现在生产人员的视野中，实现了安全管理的关口前移，能够有效预防潜在的设备设施故障，降

作者简介：王涛（1990.04-），男，汉族，吉林双辽人，大学本科，工程师，研究方向：发电厂的安全管理或提升。

低了安全事件事故的发生概率。在应急响应方面，某核电站在优化安全管理体系后，建立了可靠性和智能化较高的应急指挥系统，整合了气象预报、视频监控、全国联网等多源数据，大大提高了核应急的决策效率和准确性。

（二）促进发电厂经济效益与安全管理的协同发展

安全管理体系的优化能促进发电厂经济效益与安全管理的协同发展。通过有效预防安全事故，可以避免因事故停产、设备损坏、赔偿等造成的直接经济损失。优化的安全管理体系还能够减少不必要的停机时间，提高设备利用率，从而提高生产效率。同时，通过科学的管理方法和先进技术手段，可以提高安全管理的效率，降低管理成本。一个具体的例子是，某燃气发电厂在实施优化后的安全管理体系一年内，重大设备故障次数减少50%，避免了约1000万元的直接经济损失。[3]另一个案例是某风电场通过优化预防性维护策略，将年度计划停机时间缩短了20%，年发电量提升了5%。在降低安全管理成本方面，某光伏电站采用无人机巡检等智能化手段后，年度安全检查人力成本降低30%，同时提高了巡检的全面性和及时性。

（三）推动电力行业安全管理水平的整体提升

发电厂作为电力系统的核心环节，其安全管理体系的优化对整个电力行业具有示范和引领作用，能够推动电力行业安全管理水平的整体提升。通过系统性研究和实践，可以总结出一套适用于不同类型发电厂的安全管理优化方法，为整个行业提供可复制的经验。优化实践还可以为制定更加科学、严格的行业安全标准提供依据，推动行业标准的制定和完善。此外，优化过程中产生的新理念、新技术和新方法可以推动整个行业的安全管理创新。例如，某大型发电集团在旗下火电、水电、核电等多类型电厂推广实施了统一的安全管理体系优化方案，取得了显著成效，该方案随后被电力行业协会推广为行业最佳实践。在推动安全管理创新方面，某核电厂开发的基于虚拟现实(VR)技术的安全培训系统，大大提高了操作人员的安全意识和应急处置能力，该系统随后被多家核电企业采用，推动了行业安全培训方式的革新。[4]

综上所述，发电厂安全管理体系的优化设计研究对提升本质安全水平、促进经济效益与安全管理协同发展、推动行业整体进步具有重要意义。通过持续的研究与实践，不仅能够为发电厂的安全生产提供有力保障，还能为构建更加安全、高效的电力系统做出重要贡献。

二、发电厂安全管理体系优化设计面临的主要问题

发电厂安全管理体系优化设计面临的主要问题可以从三个方面进行论述：安全意识和文化建设不足、安全管理机制不完善、以及新技术应用带来的挑战。

（一）安全意识和文化建设不足

安全意识和文化建设不足是发电厂安全管理体系优化面临的首要问题。尽管大多数发电厂都认识到安全生产的重要性，但在实际操作中，安全文化的深层次渗透仍然不够。这主要表现在：员工的安全意识参差不齐，导致未能以安全的角度开展日常管理工作和生产工作；管理层在追求经济效益时可能忽视安全投入，导致企业发展和安全管理失衡；安全培训流于形式，未能真正提高员工的安全技能和意识，导致生产安全事件事故频发、多发。例如，某火力发电厂在进行安全文化建设时发现，虽然每年都开展安全培训，但员工的违规操作仍然时有发生。通过深入调查，发现原有的培训方式过于理论化，员工难以将所学知识应用到实际工作中。为解决这一问题，该电厂引入了情景模拟和虚拟现实技术，让员工在模拟环境中进行实践学习，显著提高了培训效果。当然，企业应在实际工作中探索更加有效，适合自身的管理方法。[5]

（二）安全管理机制不完善

安全管理机制不完善是第二个主要问题。许多发电厂的安全管理体系仍停留在传统模式，难以适应现代化生产的需求。具体表现为：安全责任制不够明确，各部门之间协调不畅；风险评估和隐患排查机制不健全，难以实现全面、动态的风险管控；应急管理体系不够完善，面对突发事件时响应不及时、处置不当。一个典型案例是某水电站在优化安全管理体系时发现，各部门之间的信息沟通存在严重滞后，导致安全隐患无法及时发现和处理。为此，该水电站构建了一个集中式的安全信息管理平台，实现了各部门安全信息的实时共享和快速响应。平台上线后，安全隐患的平均处理时间从原来的72小时缩短到24小时，大大提高了安全管理效率。[6]

（三）新技术应用带来的挑战

新技术应用带来的挑战是发电厂安全管理体系优化面临的第三个主要问题。随着智能电网、大数据、人工智能等新技术在电力行业的广泛应用，发电厂的生产运营模式正在发生深刻变革。这一方面为安全管理带来了新的机遇，另一方面也带来了新的安全风险和管理难题。主要挑战包括：如何保障智能化设备的可靠性和安全性；如何应对网络安全威胁；如何处理和利用海量的安全相关数据；如何培养具备新技术背景的安全管理人才等。例如，某核电站在引入人工智能辅助操作系统后，面临着如何确保AI决策可靠性和人机协作安全性的问题。为此，该核电站专门成立了一个跨学科团队，包括核电专家、AI工程师和人因工程专家，共同制定了一套AI辅助决策的安全评估标准和人机交互协议。这套标准和协议不仅保障了AI系统的安全应用，还为整个核电行业的智能化转型提供了有益参考。[7]

这三个方面的问题相互关联，共同构成了发电厂安全管理体系优化设计面临的复杂挑战。安全意识和文化建设不足会影响安全管理机制的有效执行；安全管理机制的不完善会阻碍新技术在安全管理中的有效应用；而新技术的应用又对安全文化建设和管理机制提出了新的要求。因此，在进行发电厂安全管理体系优化设计时，需要采取系统性的方法，统筹考虑这些问题，制定全面的优化策略。

三、发电厂安全管理体系优化设计的策略方案

发电厂安全管理体系优化设计的策略方案可以从以下三个方

面展开：构建全员参与的安全文化、完善风险管控和应急管理机制、以及推进安全管理智能化。

（一）构建全员参与的安全文化

构建全员参与的安全文化是优化发电厂安全管理体系的基础。这需要从思想意识、制度建设和行为规范三个层面入手。首先，应强化安全教育培训。安全教育培训的核心是安全思想，很多企业只有管理层和主要的安全管理者能够思想统一，而基层受其局限性的因素限制，安全思想、理念往往无法深入到一线基层，这就需要我们安全意识强的人带动基层，多问、多讲、多举例，以更加直白和贴近生活的例子对安全思想的核心或关键字进行有效宣传、讲解，从而提高全体员工的安全意识，建立更多层级的安全管理屏障。其次，建立健全安全责任制，明确各岗位的安全职责，建立区域的网格化检查、安全保证金等方法，实现我的区域我负责，我为自己负责的日常管理模式。最后，营造积极的安全氛围，以触目惊心的安全事故警示教育片或图片和员工违章的通报，直达员工的内心深处，时刻警示全员安全无小事，积极调动员工主动参与安全管理。

（二）完善风险管控和应急管理机制

完善风险管控和应急管理机制是优化安全管理体系的核心。这包括建立科学的风险评估体系，实施动态化的隐患排查与治理，以及构建高效的应急响应机制。在风险评估方面，应采用定量与定性相结合的方法，全面识别和评估各类安全风险。在隐患排查与治理方面，要建立常态化的隐患排查机制，并实施闭环管理。在应急管理方面，需要制定科学的应急预案，定期开展应急演练，提高快速响应和处置能力。一个成功的案例是某核电站实施的”全流程风险管理”模式。该模式将风险管理贯穿于电站规划、设计、建设、运营的全过程。通过建立风险信息数据库，实现了风险的动态评估和预警。同时，该核电站还建立了多层次的应急响应机制，包括现场处置、厂区应急和场外应急三个层级，并与地方政府、军队等外部力量建立了联动机制。这一模式使得该核电站的安全管理水平显著提升，连续多年保持了零事故记录。

（三）推进安全管理智能化

推进安全管理智能化是优化发电厂安全管理体系的重要发展方向。这涉及到利用大数据、人工智能、物联网等新技术提升安全管理的效率和精准度。从人员进出生产现场或重要区域、活动轨迹，重要高风险的施工现场、人员的行为状态的监控，自然环境监测等方面出发，具体措施包括：建立智能化的安全监测系统，实现对关键设备和区域的实时监控；开发基于大数据的风险预测模型，提高风险识别和预警能力；应用人工智能技术辅助决策，提升应急处置的科学性和效率。

这三个方面的策略方案相互支撑，形成了一个系统性的发电厂安全管理体系优化框架。全员参与的安全文化为风险管控和应急管理提供了思想基础和行为保障；完善的风险管控和应急管理机制为安全管理智能化提供了制度支撑和实施路径；而安全管理智能化又为构建安全文化和完善管理机制提供了技术手段和数据支持。在实施这些优化策略时，发电厂需要根据自身特点和实际情况，制定切实可行的实施计划。同时，要建立定期评估和持续改进的机制，确保安全管理体系能够不断适应新的安全挑战。通过这些措施，发电厂可以构建起更加科学、高效、可靠的安全管理体系，有效提升本质安全水平，为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

四、结论

综上所述，本文通过深入分析发电厂安全管理体系的现状和问题，提出了优化设计的策略方案，旨在提升发电厂本质安全水平、促进经济效益与安全管理的协同发展，并推动电力行业的整体安全管理水平提升。研究表明，当前发电厂在安全意识、管理机制和新技术应用等方面仍存在明显不足，需要从全员参与的安全文化建设、完善的风险管控与应急管理机制，以及安全管理智能化等方面入手，构建更加科学高效的安全管理体系。优化措施包括强化安全责任制、构建双重预防机制、加强员工培训及引入智能化管理工具等。通过这些优化设计，不仅能有效减少事故发生，提高应急响应能力，还能提升生产效率，降低管理成本。最终，发电厂将实现安全与经济效益的双赢，为电力系统的安全、稳定、高效运行提供有力保障，并为其他高风险行业的安全管理提供宝贵经验。

参考文献

[1]叶皓. Y大型火力发电厂安全管理优化研究［D］. 中南大学，2022.

[2]郭丹. 古交发电厂安全管理体系优化设计研究［D］. 兰州理工大学，2020.

[3]孙海鹏. 火力发电厂信息安全体系构建与应用［J］. 智能城市，2021,7(07):99-100.

[4]赵洪斌. 火电厂安全管理中的风险与防范［J］. 化工管理，2020,(33):86-87.

[5]阎其业. 发电厂安全管理体系的构建与实施［J］. 投资与创业，2020,31(19):148-150.

[6]苏红锋. 基于NOSA安健环体系的威信发电厂安全管理研究［D］. 云南财经大学，2020.

[7]宋占武. 探讨火力发电厂生产运行管理现状及改进对策［J］. 财富时代，2019,(11):111-112.