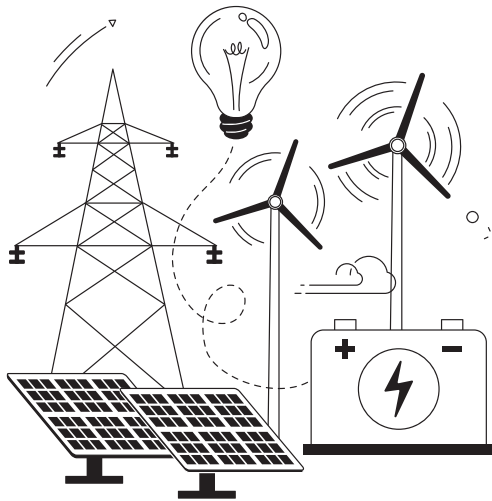


# 电力技术 与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## 编委 Editorial Board Member

贺喜巴特尔, 内蒙古能源发电杭锦发电有限公司

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

莫日更高娃, 内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司

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

王娟, 内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电公司

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

谢超善, 北京必可测科技股份有限公司

Chaoshan Xie, Beijing BKC Technology Co., Ltd.

# 电力技术与安全管理

Electric Power Technology and Safety Management

第1卷 第3期 2024年6月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《电力技术与安全管理》编辑部

ISSN(O): 2997-3503

ISSN(P): 2997-3473

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

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

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



## 电力工程 | POWER ENGINEERING

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 005 | 浅谈如何做好电力工程施工阶段工程结算审核工作<br>How to do a Good Job in Power Engineering Construction Stage<br>Project Settlement Audit Work                         | 陈燕潮<br>Chen Yanchao   |
| 008 | 电力施工项目结算的优化策略与实施路径探讨<br>Discussion on Optimization Strategy and Implementation Path<br>of Electric Power Construction Project Settlement        | 邓国斌<br>Deng Guobin  |
| 011 | 新能源电力工程在智能电网中的应用与挑战分析<br>Analysis of the Application and Challenges of New Energy<br>Power Engineering in Smart Grid                            | 蒋博<br>Jiang Bo  |
| 014 | 火电厂燃煤效率提升与碳排放减排策略研究<br>Research on Coal Efficiency Improvement and Carbon Emission Reduction<br>Strategies for Thermal Power Plants             | 杨鹏里<br>Yang Pengli  |
| 017 | 核电厂仪表校验方法的比较及选择研究<br>Research on the Comparison and Selection of Instrument Calibration<br>Methods in Nuclear Power Plants                      | 刘海琪 <sup>1</sup> , 靳文金 <sup>2</sup><br>Liu Haiqi <sup>1</sup> , Jin Wenjin <sup>2</sup>   |
| 020 | 浅谈电能计量与采集运维<br>Talking About Electric Energy Measurement and Collection Operation<br>and Maintenance  | 邬洪飞 <sup>1</sup> , 熊志远 <sup>2</sup> , 俞杰杰 <sup>3</sup> , 陈海胜 <sup>4</sup><br>Wu Hongfei <sup>1</sup> , Xiong Zhiyuan <sup>2</sup> , Yu Jiejie <sup>3</sup> , Chen Haisheng <sup>4</sup> |
| 024 | 核电站新机组备件批量编码若干质量管控措施<br>Some Quality Control Measures for Batch Coding of Spare Parts<br>of New Units of Nuclear Power Plants                   | 周来<br>Zhou Lai  |
| 027 | 压水堆核电厂运行管理领域标准体系研究<br>Research on the Standard System in the Operation and Management Field<br>of Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant | 谢建军<br>Xie Junjun   |
| 030 | 永磁调速器在风机节能改造中的应用<br>Application of Permanent Magnet Speed Governor<br>in Energy-Saving Transformation of Fan                                    | 陈健, 魏晓明<br>Chen Jian, Wei Xiaoming  |
| 033 | 核电站备件采购 workflow 调度优化<br>Optimization of Workflow Scheduling for Spare Parts Procurement<br>in Nuclear Power Plants                             | 李艺 <sup>1</sup> , 梁海勇 <sup>2</sup><br>Li Yi <sup>1</sup> , Liang Haiyong <sup>2</sup>   |
| 036 | 电梯运行能耗监测与节能管理系统的开发<br>Development of Energy Consumption Monitoring and Energy<br>Saving Management System for Elevator Operation                | 戴香东<br>Dai Xiangdong  |
| 039 | 经验反馈在工作过程的全流程应用实践<br>Analysis of the Application Mode of Experience Feedback<br>in the Whole Process of Work                                    | 陈威, 周鹏飞, 王媛媛<br>Chen Wei, Zhou Pengfei, Wang Yuanyuan   |
| 042 | 基于水电站电气设备长周期运行策略研究<br>Research on Long term Operation Strategy of Electrical Equipment<br>in Hydropower Stations                                | 高志勇<br>Gao Zhiyong  |
| 045 | 新能源发电并网对电能质量的影响研究<br>Study on the Impact of Grid-Connected New Energy Generation<br>on Power Quality  | 王世运<br>Wang Shiyun  |
| 048 | 为什么汽轮机乏汽不直接送至锅炉加热再做功?<br>Why is the Exhaust Steam of the Steam Turbine Not Directly Sent<br>to The Boiler for Heating and Then Doing Work?      | 刘继婵<br>Liu Jichan   |

电力系统 | POWER SYSTEM

051	电容补偿对电力系统功率因数及稳定性的影响分析与控制策略 Influence Analysis and Control Strategy of Capacitance Compensation on Power Factor and Stability of Power System	林桂鹏 Lin Guipeng
054	现代火电厂汽机系统的优化与能效提升 Optimization and Energy Efficiency Improvement of Steam Engine System in Modern Thermal Power Plant	胡昌毅 Hu Changyi
057	电力系统的可靠性分析与提升措施研究 Reliability Analysis of Power System and Research on Improvement Measures	赵栋 Zhao Dong
060	电站触发变组保护故障报警的分析研究 Analysis and Research on Triggering Generator-Transformer Unit Protection Fault Alarm in Power Station	王森 Wang Sen
063	智能电网中的大数据分析与应用：提升电力系统自动化水平 Big Data Analytics and Applications in Smart Grids: Improving Power System Automation	于勤勤 Yu Qinqin
066	基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化 Fault Prediction and Maintenance Optimization of Power System Based on Artificial Intelligence	刘栖雯 Liu Qiwen

技术研究 | TECHNOLOGY RESEARCH

069	海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护 Fault Diagnosis and Predictive Maintenance of Electrical Equipment in Offshore Wind Farms	姬晓东, 陈子祥, 权智杰 Ji Xiaodong, Chen Zixiang, Quan Zhijie
072	火电厂锅炉燃烧控制与节能技术研究 Research on Boiler Combustion Control and Energy Saving Technology in Thermal Power Plant	卢松松 Lu Songsong
075	电气试验中局部放电检测技术研究与应用探索 Research and Application Exploration of Partial Discharge Detection Technology in Electrical Test	阿布都热依木·萨迪克 Abudureyimu·Sadike
078	浅谈电子电器产品能效检测的质量控制技术 Discussion on the Quality Control Technology of Energy Efficiency Testing of Electronic and Electrical Products	高金法 Gao Jinfa
081	图像识别技术在电力施工现场安全管理中的应用 Application of Image Recognition Technology in Safety Management of Electric Power Construction Site	符铁辉 Fu Tiehui
084	核电汽轮机顶轴油泵常见问题及处理 Common Problems and Treatment of Jacking Oil Pump for Nuclear Power Steam Turbine	武书安 Wu Shu'an
087	主给水泵转速自动控制器故障原因分析 Analysis of Speed Automatic Controller of Main Feed Pump	戴勇 Dai Yong
090	C核电厂放射性固体废物储存间剂量率高报警原因分析 C Analysis of The Reasons for High Dose Rate of Radioactive Solid Waste in Nuclear Power Plant	孙涛 Sun Tao
093	特高压输电线路在线监测技术应用分析 Analysis on the Application of Online Monitoring Technology for Extra-high Voltage Transmission Lines	何寿根 He Shougen
096	电力企业川井现场歌美飒 G52-850 风机 210 高速刹车未释放故障分析 Fault Analysis of High Speed Brake Failure of Gemeisa G52-850 Wind Turbine 210 at Chuanjing Power Company Site	荣宇龙, 张博 Rong Yulong, Zhang Bo
099	新能源风力发电中的控制技术分析 Analysis of Control Technology in New Energy Wind Power Generation	梁晓军 Liang Xiaojun
102	新能源风力发电技术分析 New Energy Wind Power Generation Technology Analysis	吴军 Wu Jun

安全管理 | SAFETY MANAGEMENT

105	电力工程施工安全管理新模式探讨 Discussion on the New Mode of Safety Management in Electric Power Engineering Construction	郭洪涛 Guo Hongtao
108	农配网工程施工合同管理在安全质量管理中的作用研究 Research on the Role of Construction Contract Management of Agricultural Distribution Network Engineering in Safety and Quality Management	牙里坤·苏力坦 Yalikun·Sulitan
111	电力工程施工中的安全生产管理 Safety Production Management in the Construction of Electric Power Projects	艾力·马木提 Aili·Mamuti
114	核电厂人身安全事故应急预案与演练实施 Implementation of Emergency Plan and Drill for Personal Safety Accidents in Nuclear Power Plants	郑斌, 李进, 胡灿, 张森 Zheng Bin, Li Jin, Hu Can, Zhang Sen

# 浅谈如何做好电力工程施工阶段工程结算审核工作

陈燕潮

深圳市宝睿能源发展有限公司，广东 深圳 518000

**摘 要：** 电力结算审核是进行工程造价计算的关键措施，其作为工程造价管理的重要构成，能够在一定程度上决定工程造价。因此，相关人员必须提高对于电力工程施工阶段工程结算审核重视程度，明确结算过程中出现的问题并做出改进，确保电力工程施工阶段结算审核的作用可以得到充分体现。

**关 键 词：** 电力施工；施工阶段；结算审核

## How to do a Good Job in Power Engineering Construction Stage Project Settlement Audit Work

Chen Yanchao

Shenzhen Baorui Energy Development Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** Power settlement audit is the key measure of engineering cost calculation, as an important component of engineering cost management, it can determine the project cost to a certain extent. Therefore, relevant personnel must pay more attention to the engineering settlement audit in the construction stage of power engineering, clarify the problems in the settlement process and make improvements to ensure that the role of the settlement audit in the construction stage of power engineering can be fully reflected.

**Keywords：** power construction; construction phase; settlement audit

随着市场经济体系的进一步完善以及基础设施设备的增加，电力行业获得了一定发展。但是，由于原材料价格上涨、施工规模的扩大，电力工程施工阶段造价明显上涨，需要相关人员做好结算审核，将施工阶段工程造价控制在适宜范围内，在保障工程整体质量、减少电力企业成本投入的同时，为电力企业创造更多效益。

### 一、电力工程结算审核存在的不足

在开展电力工程施工时，阶段审核的关键在于明确清单中工程量的变化、设计变更要求、合同价款变化等，在开展审核时必须确保其是符合法律法规的，包含较为完整内容。当前，所进行的电力工程结算审核受到了较多人的关注，并取得了一定成绩，但是由于多方面因素的约束，电力工程结算审核仍有不足。需要相关人员加大力度进行探究，并从实际出发，有针对性地挑选不同审核方式，工作人员可以将电力工程结算审核过程中出现的问题总结为以下几点内容：

#### （一）定额套用

在电力工程结算审核过程中，定额项目套用是一种较为普遍的行为，可以归纳为以下几点。第一，定额套用可能会导致偏差出现。电力工程涉及的内容广泛，具有较强的系统性，因此在进行结算时，很可能会出现定额子相关套用不符合相关规范的情况。例如，某个定额子可能与实际工程的特点和要求不完全相符，导致结算结果与实际工程情况存在差异。第二，定额高套问题也普遍存在。在电力工程施工中，高套问题比较常见。例如，在进行电缆管道挖掘工作时，实际上可能使用了不同的机械设

备。然而，在进行定额套用时，可能会套用成人力资源投入的定额标准，导致结算结果高于实际费用。第三，还存在其他定额套用的问题。例如，某些定额项目可能过于笼统，没有区分工程的具体情况和要求，导致结算结果不准确。另外，有些定额项目可能过于细致，难以与实际工程相匹配，导致结算过程繁琐，并可能增加工程成本。为了解决定额套用及其相关问题，需要采取以下措施。①加强对定额项目的修订和更新，确保其与实际工程情况相符合。同时，针对电力工程的特点，可以开展定制化的定额项目编制工作，更好地适应实际需求。②加强对定额套用的审核和把关，确保定额套用合理、准确。③还应加强对结算人员的培训和指导，提高其对定额套用问题的认识和处理能力。总之，定额套用是电力工程结算审核过程中普遍存在的问题，容易导致结算结果与实际情况不符。为了解决这一问题，需要加强定额项目的修订和定制化工作，加强对定额套用的审核和把关，并加强结算人员的培训和指导，以提高电力工程结算审核的质量和准确性。

#### （二）工程量

电力工程工程量计算存在一定问题，可以将其总结为以下几点：第一，存在重复开展工程量计算的情况<sup>[1]</sup>。这种情况可能出

现在电力工程项目的不同阶段或不同环节，导致工程量重复计算的现象。重复计算不仅浪费了时间和资源，还可能造成工程量的误差和不一致。第二，可能会进行项目虚设。在电力企业开展工程结算时，个别工作人员为了增加自身的效益，可能会开设一些并不需要进行实际施工的项目。这样的行为不仅会浪费企业的资源，而且存在违规操作和损害企业利益的风险。为了解决这些问题，需要加强对工程量计算的规范和标准化，加强监督和审核，同时加强对工作人员的培训和教育，以提高工程量计算的准确性和公正性，为电力企业的发展和效益做出贡献。对于工程预结算审核人员来说，要提升自身的专业技能与综合素养，针对电力工程造价，在最短的时间内完成审核，并结合电力工程计价依据，科学选择计算方法，对电力工程各方面进行科学的造价评估，真正达到提高工程项目经济效益的重大目标<sup>[2]</sup>。

### （三）施工材料

一般来讲，电力施工的价格差异主要是因为材料价格引起的<sup>[3]</sup>。电力工程施工较为常见材料问题能够被归纳为以下几类：第一，施工材料的质量不符合要求。部分电力企业在开展工程施工时，很可能会出现员工为了谋取私利选用质量不符合要求施工材料的情况。虽然施工材料的类型一致，但是性质却存在明确区别，质量也存在差异。第二，施工材料的价格并非一成不变的，很可能会由于供给、需求条件的变化以及其他因素的影响，导致施工材料价格上涨或下跌。此外，在选择施工材料时应优先选择绿色环保的可循环建材，而不应为了节省施工成本而选择价格低廉、没有质量保障的建筑材料<sup>[4]</sup>。为解决以上问题，可采取这些措施：①加强对施工材料质量的监督和检验，确保选用的材料符合相关要求和标准。②加强对供应链的管理和优化，确保施工材料的供应稳定和及时。③加强对施工材料价格的监测和调控，及时调整工程结算中的材料费用。④还需要加强与供应商的合作和沟通，建立长期稳定的供应关系。

### （四）存在虚设费用的行为

在开展电力工程结算审核时，不但有着施工材料、定额套用问题，虚设费用的情况较为普遍，这在一定程度上增加了电力工程结算审核难度。虚设费用是指在电力工程结算过程中，存在人为捏造或夸大费用的行为。这种情况主要出现在结算人员或施工单位为了谋求私利，希望增加结算金额，从而获取更多的利益。常见的虚设费用包括虚构工作量、虚报材料费用、虚增机械使用费用等。虚设费用的存在给电力工程结算审核带来了一定的困难。①虚设费用往往隐蔽性较高，很难通过简单的检查和核对来发现。②虚设费用一旦存在，就会导致工程结算金额的偏差，影响结算的准确性和公正性。③虚设费用的产生还可能涉及相关人员和单位的违法违规行为，增加了结算审核的复杂性。

## 二、开展电力工程施工阶段工程结算审核措施

开展电力工程施工阶段工程结算审核是非常关键的，能够在一定程度上决定工程造价，对于电力工程的发展至关重要。因此，工作人员要明确电力工程施工阶段工程结算审核存在的问

题，并制定适宜的措施做出优化。工作人员可以从以下几点出发进行电力工程施工阶段工程结算审核工作：

### （一）对各项资料进行搜集汇总

在进行电力工程施工时，从多个角度出发搜集、分析结算审核资料有着不容忽视的作用，能够在一定程度上决定结算审核工作的推进情况以及审核流程是否存在冲突<sup>[5]</sup>。因此，建设方必须从多个角度出发搜集各项资料：第一，要了解原本预算，投标报价和合同价格。这是在某一操作出现变化、删减后对于费用做出调整的前提。第二，承发包合同。这一合同是开展结算编制的前提。这需要明确承发包所包含的范畴、风险分摊手段以及各人员的权利、义务。在这个过程中，还需要做好调整、结算，为合同的实施提供条件。第三，要对原始票据、现场实际情况、施工规划、进度等进行真实记载。第四，要做好图纸分析和会审工作。这需要相关人员了解到标底和实际合同标价。第五，监理工程师要根据相关要求，做好变更通知。第六，要根据审核明确竣工报告、图纸和各项单据。第七，要明确定额调整所用文件。第八，针对电力工程设计变更进行全面审查<sup>[6]</sup>。需要注意的是，在开展项目管理时，需要不同管理机构进行操作。在开展施工项目管理时，工程施工人员要从整体出发，合理分工，确保所获取的资料是精准、全面的。根据电力工程项目预结算环节可能出现的问题，提前做好资金数据收集工作，将各项数据资料整理之后，制定出更加科学的问题解决对策<sup>[7]</sup>。

### （二）运用单价选取或者是定额套用开展审核

结算计价方式可以被分为两类：一方面要开展定额计价。另一方面要进行清单计价。运用定额计价的电力工程是以定额规则为前提的，在定额子项目支持下明确工程量和各项花费，防止在开展随意操作时定额单价套用产生明显偏差的情况。可以将其总结为以下几点：第一，由人工减少或者是提高项目套用定额等级或规格<sup>[8]</sup>。第二，在开展定额工作时要避免随意冒报操作，并开展合并。第三，所经过定额并未经过审批就开展了结算工作。第四，并未根据定额要求开展换算。在挑选清单计价法的电力工程时，要严格遵循以下原则：①要将合同中相关单价作为参照进行套用。②如果合同中既没有适用单价也没有类似单价，则需要由承包商明确价格，在结束审核以后进行操作。③如果合同中有可以适应这一项目需要的单价，就需要做好套用操作。在现实工作时，所选择的单价项目与合同项目并不一致，如果承包商单价高于标准而建设方单价并不高，两者将很难一致，会产生诸多纠葛，导致工程结算无法按时完成。因此，双方可以在交流以后和具有充足经验的造价咨询中介企业开展合作，做好独立审核。此外，还可以委托给电力工程造价管理部门负责进行处理。

### （三）做好工程量计算

工程费用的关键依据在于工程量。但是，从实际来看，现实工作时工程量不但存在明显波动，而且比较隐蔽。因此，精准计算出工程量的困难程度是比较高的。在开展结算审核过程中，很可能产生上报工程量与现实工程量并不相符的情况。通过分析，可以将其总结为以下内容：第一，施工方所开展的工作是从整体角度出发的。第二，部分项目进行了变更，但是仍然根据原本的工程量开展



了结算工作。第三，存在多次重复开展工程量计算的情况。第四，施工方很可能会虚报工程量，导致施工困难重重。在项目施工过程中，更改项目设计的情况较为常见，施工设计更改会对施工周期与工程造价造成影响，因此在合同当中必须明确规定对于施工设计更改的处理方式，以此最大限度保障工程造价管理的合理性<sup>[9]</sup>。需要注意的是，应将实事求是原则作为基础，由工程监理师、竣工人员、现场管理人员负责审查，避免多报、漏报工程量的情况，将建设方、承包方经济收益控制在适宜范围。

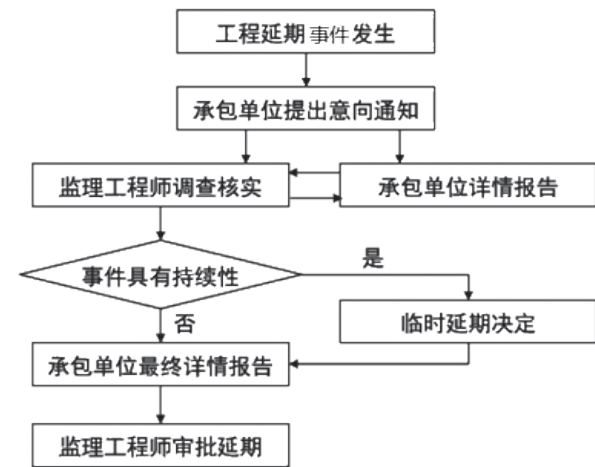


图1 工程变更审批流程

（四）分析误差

工程结算审核会对于建设方、施工方可获得的经济收益产生影响。在开展结算编制时，很可能会由于审核人员存在一定区别。例如，目标、所处地位、立场并不一致等，导致结算编制效果和预期存在差距。除此之外，不同编审人员的专业水平也存在一定差异，导致所获取的审核编制结果有所不同。需要注意的是，如果差异较大，很可能会出现压价行为。因此，必须明确工程结算误差以及导致误差形成因素，并运用可靠措施做出优化，将工程造价控制在适宜范围内，尽可能确保资金可以被充分应用，维护不同主体利益<sup>[10]</sup>。

（五）根据实际性质分析其他结算费用

一般情况下，其他费用能够被分为以下几类：第一，由于市场价格出现波动所导致的差价。电力工程所需的一些材料和设备价格会随着市场供求关系的变化而波动。这些价格变动可能会导致结算金额与实际成本之间存在差异，需要根据市场价格进行

核算和调整。第二，由于政策影响所出现的价格变化。政府的政策和法规调整可能会对电力工程所需材料和设备的价格产生直接或间接的影响。例如，资源税、关税、减税优惠等政策的调整都会对结算金额产生影响，需要及时进行调整和核算。第三，运用激励机制投入的花费。为了推动电力工程的进展和提高工程效益，可能会引入激励机制，如奖励、补贴、返还等形式。与这些激励机制相关的费用需要进行核算，并在结算过程中加以考虑。第四，在施工环节所产生的费用。电力工程施工过程中，除了材料和设备费用外，还会产生其他直接相关的费用，如施工人工费、机械使用费、运输费等。这些费用需要根据相关合同和规定进行核算，确保结算的准确性和合规性。其他费用计算需要严格遵循合同标准开展核算，防止随意进行变更的情况。需要注意的是，如果合同中某些条款并不清晰，就需要根据我国所出台的政策法规进行解答。

三、总结

根据实际分析，电力工程施工结算审核的质量受到多种因素的影响，包括我国施工市场发展情况和当前国情等。为了确保电力工程结算审核的质量符合相关标准，需要考虑到多个方面的内容，并提高施工阶段结算审核的科学性。首先，结算审核人员需要不断进行学习和专业培训，不仅了解当前的政策法规和行业标准，还要关注施工市场的最新动态和发展趋势。通过不断更新知识和技能，结算审核人员可以更好地适应施工现实需求，提高审核的准确性和专业性。其次，为了支持电力工程施工的顺利开展，结算审核需要综合考虑多个方面的内容。这包括施工合同的约定、施工进度和质量等因素，以及施工材料和其他费用的核算等。只有综合考虑这些因素，结算审核才能更加科学和合理。最后，电力工程行业的可持续发展需要结算审核的支持。结算审核不仅要符合相关标准和要求，还应考虑电力工程的环保、节能和可持续发展的要求。例如，可采用节能环保材料的费用和减少能耗的激励机制等可以纳入结算审核的范畴，促进电力工程的可持续发展。总之，电力工程施工结算审核的质量受到多方因素的影响，包括施工市场发展情况和国情等。为了提高结算审核的科学性，需要结算审核人员不断学习和提升专业素养，综合考虑多个方面的内容，并支持电力工程的顺利开展和可持续发展。

参考文献

[1]张敏杰. 电力施工项目管理及成本控制重点探析[J]. 中国新通信, 2021,23(12):134-135.  
[2]王小龙. 电力建设工程项目管理存在的问题和精细化管理策略[J]. 南方农机, 2019(18):231.  
[3]张晓彬. 电力工程造价的预结算的内容与审核方法探析[J]. 中国新技术新产品, 2016(23):99-100.  
[4]林玲. 电力工程造价管理在施工阶段中的控制策略分析[J]. 江西建材, 2020,(07):243-245.  
[5]宋博, 李士巍, 姜新. 电力工程技术经济分析在造价控制中的作用分析[J]. 中国管理信息化, 2020,23(22):126-127.  
[6]党卫星. 电力建筑工程预结算编制质量的影响因素及编制[J]. 通讯世界, 2018(5):345-346.  
[7]罗艳文. 电力工程预结算编制中存在的问题及解决措施[J]. 建材与装饰, 2019(7):166-167.  
[8]肖容. 浅谈电力工程结算审核技巧及注意事项[J]. 技术与市场, 2019,26(04):213-214.  
[9]方明, 张双萍, 陆秋云, 等. 浅谈电力工程设计评审及技术经济评价信息系统[J]. 中国管理信息化, 2019,22(12):56-57.  
[10]余丽萍. 关于电力工程预算审核问题及对策的若干思考[J]. 现代经济信息, 2019,(06):188-190.

# 电力施工项目结算的优化策略与实施路径探讨

邓国斌

深圳市宝睿能源发展有限公司，广东 深圳 518000

**摘 要：** 本文针对电力施工项目结算的优化策略与实施路径进行探讨，旨在提高电力施工项目结算的效率和准确性。首先，对电力施工项目结算的现状进行分析和探讨，包括结算流程、结算方式和结算中的问题。其次，从多个方面提出电力施工项目结算的优化策略，包括优化结算流程、提高结算效率、加强结算管理和提高结算准确性等方面。最后，探讨电力施工项目结算的实施路径，包括制定相应的政策和措施、加强培训和技能提升、推动信息化建设等方面。本文的研究结果对于提高电力施工项目结算的效率和准确性具有重要的理论和实践意义。

**关 键 词：** 电力施工项目；结算；优化策略；实施路径；效率；准确性

## Discussion on Optimization Strategy and Implementation Path of Electric Power Construction Project Settlement

Deng Guobin

Shenzhen Baorui Energy Development Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** This paper discusses the optimization strategy and implementation path of power construction project settlement, aiming at improving the efficiency and accuracy of power construction project settlement. First of all, this paper analyzes and discusses the current situation of power construction project settlement, including settlement process, settlement method and settlement problems. Secondly, it puts forward the optimization strategy of power construction project settlement from many aspects, including optimizing settlement process, improving settlement efficiency, strengthening settlement management and improving settlement accuracy. Finally, the paper discusses the implementation path of electric power construction project settlement, including formulating corresponding policies and measures, strengthening training and skill upgrading, and promoting information construction. The research results of this paper have important theoretical and practical significance for improving the efficiency and accuracy of power construction project settlement.

**Keywords：** power construction project; settlement; optimization strategy; implementation path; efficiency; accuracy

## 引言

本文旨在探讨电力施工项目结算的优化策略与实施路径，以提高施工项目管理的效率与效益，降低成本，减少纠纷，促进电力行业的健康发展。通过研究电力施工项目结算的优化策略与实施路径，期望能为电力施工企业提供有益的参考和启示，有助于提升整个电力行业的项目管理水平。

## 一、我国电力施工项目结算的现状

- 结算周期长：电力施工项目通常涉及复杂的工程量和质量问题，导致结算周期较长，影响了业主方的资金使用效率。
- 结算价格不透明：由于电力施工市场竞争激烈，施工方可能会通过压低结算价格来获得更多的订单。然而，这种做法可能导致业主方支付的价格不符合市场价值，从而影响业主方的利益。
- 结算资料不完善：在电力施工项目结算过程中，可能会出

现结算资料不完整、不规范的情况，这会影响业主方对工程量的确认和资金支付。

- 工程质量问题：由于电力施工项目涉及的工程量和质量问题较多，可能会出现工程质量问题导致结算延时的或者结算价格偏低的情况。
- 合同管理不规范：在电力施工项目合同管理方面，可能会存在合同规定不明确、合同履行不到位的情况，从而导致结算争议和纠纷。
- 政策风险：由于电力行业政策的变化，可能会对电力施工



项目结算产生影响，如政策调整导致结算价格波动，或者政策变动导致结算资料不合法。

针对以上问题，可以采取相应的措施进行优化和解决，如建立合理的结算周期，提高结算透明度，加强结算资料的管理和审核，提高工程质量，加强合同管理，及时了解政策风险等。

## 二、建立合理的结算流程

1. 结算前的准备工作：在结算前，发包方和承包方应该进行充分的沟通，明确结算的依据、标准、时间和流程等。<sup>[1]</sup>同时，双方应该提供完整的工程资料和财务报表，确保结算的准确性和完整性。

2. 工程量核算：发包方和承包方应该按照合同约定，对工程量进行核算。这个过程需要对施工图纸、工程量清单、实际完成量等进行分析和比较，确保核算的准确性和公正性。

3. 成本核算：在工程量核算的基础上，发包方和承包方应该对成本进行核算。<sup>[2]</sup>这个过程需要对施工过程中的成本进行分析和比较，包括人工、材料、设备、管理等各个方面的成本，确保核算的准确性和完整性。

4. 结算核算：在成本核算的基础上，发包方和承包方应该对结算进行核算。这个过程需要根据合同约定和实际完成情况，计算出各种结算指标，如工程款、进度款、变更款等，确保结算的准确性和公正性。

5. 签订结算文件：在结算核算完成后，发包方和承包方应该签订结算文件。<sup>[3]</sup>这个文件应该包括工程量、成本、结算金额、支付时间等各个方面的内容，确保结算的准确性和法律效力。

6. 支付结算款项：在结算文件签订后，发包方和承包方应该按照合同约定和结算文件，进行支付结算款项。这个过程中需要确保款项的及时性和准确性，避免出现纠纷和延误。

7. 结算后的验收：在结算完成后，发包方和承包方应该进行结算后的验收。这个过程中需要对工程质量、工程量、成本等方面进行验收，确保结算的准确性和公正性。

## 三、提高结算数据的准确性

1. 完善结算制度：建立严格的结算管理制度，明确结算的依据、程序、责任和时间节点，确保结算数据的准确性和完整性。

2. 提高结算数据的采集和整理质量：加强对现场施工情况的监测和记录，确保结算数据的原始准确性。<sup>[4]</sup>同时，采用现代信息技术手段，如大数据分析、云计算等，对采集到的数据进行有效的整理和分析，提高计算数据的准确性。

3. 加强人员培训：对从事结算工作的相关人员进行专业培训，提高他们的业务水平和责任心，确保结算数据的准确性和公正性。

4. 采用先进的结算方法和技术：引入先进的工程量清单计价法、预算编制方法等，利用现代信息技术手段，如大数据分析、云计算等，提高结算数据的准确性和效率。

5. 强化内部审计和监督：加强对结算数据的内部审计和监督，及时发现和纠正结算数据的不准确问题，确保结算数据的准确性和公正性。

6. 建立有效的争议解决机制：对于在结算过程中出现的争议，要及时采取有效措施予以解决，避免因争议而导致结算数据的不准确。

7. 加强合同管理：完善合同管理制度，明确双方的权责，为结算数据的准确性和公正性提供合同依据。

要提高电力施工项目结算数据的准确性，需要从多方面入手，形成一个完整的结算数据管理体系，以确保工程质量和资金安全。

## 四、加强对结算行为的监督和管理

在电力施工项目结算的优化策略与实施路径探讨中，加强对结算行为的监督和管理是非常重要的一环。

1. 建立健全结算制度：制定明确、合理的结算规定和流程，确保结算行为的规范性和公正性。对于电力施工项目来说，可以考虑制定与其他行业类似或者更加严格的结算管理制度，从而提高结算行为的准确性。

2. 加强内部监管：企业应加强内部审计和监管，确保电力施工项目结算过程的合规性。<sup>[5]</sup>可以设立专门的结算审核部门或指定专门的审核人员，负责对结算行为的监督和管理。

3. 引入现代科技手段：运用现代科技手段，如大数据分析、云计算等技术，对电力施工项目结算数据进行实时监控和分析，发现异常情况及时进行调整和处理，从而提高结算行为的透明度和公正性。

4. 强化合同管理：加强对合同的管理，确保合同条款的明确性和合理性。对于结算条款，应详细列明结算方式、结算时间、结算金额等，避免因合同问题导致的结算纠纷。

5. 建立有效的沟通机制：企业应建立与施工方、供应商等相关方的有效沟通机制，确保各方的需求和问题能够及时得到解决，有利于电力施工项目结算的顺利进行。

6. 开展培训和宣传：加强对员工结算知识和技能的培训，提高员工的业务素质和责任感。通过宣传教育，提高各层级管理人员对结算行为的重视程度，形成全员参与的监督和管理格局。

7. 建立激励和约束机制：对于表现优秀的员工，给予相应的奖励和激励，提高员工的积极性和工作热情。<sup>[6]</sup>同时，对违反结算规定的行为进行严肃处理，形成有效的约束和惩戒机制。

通过以上措施，加强对电力施工项目结算行为的监督和管理，有助于提高结算的准确性和效率，降低结算风险，从而为企业的持续发展创造有利条件。

## 五、强化内部管理和控制

强化内部管理和控制是电力施工项目结算优化策略和实施路径探讨的一个重要方面。在电力施工项目中，内部管理和控制机

制的健全和有效，可以有效地保证项目的顺利进行，提高项目的效率和质量，减少风险和成本，从而为电力施工项目结算提供有力的支持。

1.制定详细的施工计划和进度安排，确保项目按时完成。在制定计划时，应考虑到各种可能出现的问题和风险，并制定相应的应对措施。在电力项目成本控制中，要根据实际情况，完善成本和造价管理，将成本控制同管理要求结合起来，达到预期的效果。在成本控制和机构建设中，必须严格按照项目成本和造价管理的有关规定进行管控。<sup>[7]</sup>

2.建立完善的质量管理体系，确保施工质量符合要求。在质量管理体系中，应包括质量计划、质量控制、质量检查和质量评估等环节，以确保施工质量得到有效控制和管理。

3.制定严格的成本控制制度，确保项目成本得到有效控制。在成本控制制度中，应制定详细的成本预算和成本控制措施，并加强对成本控制制度的监督和执行。

4.建立健全的安全管理体系，确保施工安全得到有效控制和管理。在安全管理体系中，应制定详细的安全计划和安全控制措施，并加强对安全管理的监督和执行。

5.建立有效的内部沟通和信息共享机制，确保项目团队之间的沟通和信息共享得到有效促进。<sup>[8]</sup>在内部沟通和信息共享机制中，应制定详细的信息共享流程和沟通工具，并加强对信息共享的监督和执行。

6.建立完善的内部审计机制，加强对项目内部管理和控制的监督和检查。在内部审计机制中，应制定详细的审计计划和审计程序，并加强对内部审计的监督和执行。

通过以上措施的实施，可以加强电力施工项目内部的内部管理和控制，为电力施工项目结算的优化提供有力的支持。

## 六、建立有效的激励和约束机制

1.制定明确的结算规则 and 标准：为了确保电力施工项目结算的公正性和准确性，需要制定明确的结算规则 and 标准。<sup>[9]</sup>这些规则 and 标准应该包括工程量、工程质量、工程进度、合同条款等方面的具体要求，以便于双方按照规则 and 标准进行结算。

2.建立合理的激励机制：为了鼓励施工方在保证工程质量、工程进度和工程量的前提下完成工程，可以建立合理的激励机

制。<sup>[10]</sup>例如，可以按照工程量、工程质量、工程进度等方面对施工方进行绩效评估，根据评估结果给予相应的奖励。

3.建立严格的约束机制：为了防止施工方在结算过程中出现违规行为，如虚报工程量、工程质量问题等，需要建立严格的约束机制。这些约束机制可以包括相应的处罚措施、责任追究等措施，以保证施工方的违规行为得到有效约束。

4.加强审计和监督：为了确保电力施工项目结算的公正性和准确性，需要加强审计和监督。审计和监督可以包括对施工方提交的工程量、工程质量等方面的资料进行审核，以及定期对施工方的绩效评估进行审核，以确保施工方能够按照规则 and 标准完成工程。

5.建立信息共享平台：为了提高电力施工项目结算的效率和准确性，可以建立信息共享平台。信息共享平台可以包括工程量、工程质量、工程进度等方面的信息，双方可以在平台上共享信息，有利于施工方及时了解工程情况，有利于提高结算效率和准确性。

建立有效的激励和约束机制是电力施工项目结算优化的关键。通过制定明确的结算规则 and 标准、建立合理的激励机制、建立严格的约束机制、加强审计和监督以及建立信息共享平台等措施，可以有效提高电力施工项目结算的效率和准确性。

## 七、结束语

在电力施工项目结算中，优化策略和实施路径的探讨是一个重要的话题。通过本文的研究，得出的结论是，通过优化电力施工项目结算流程，采用科学的结算方法和合理的价格调整机制，可以有效降低结算误差，提高结算效率，减少结算成本，提升电力施工项目管理的科学性和规范性。在实践中，提出了一些具体的实施路径，包括建立合理的电力施工项目结算标准和流程，建立科学的结算审核机制，采用现代化的结算手段和技术，加强内部管理和监督等。这些实施路径可以帮助电力施工项目管理者更好地实施优化策略，提高电力施工项目结算的质量和效率。

电力施工项目结算的优化策略和实施路径是一个复杂的话题，需要从多个方面进行研究和探讨。本文的研究和实践可以为电力施工项目管理者提供一些有益的思路 and 参考，有助于提高电力施工项目结算的质量和效率，促进电力施工项目管理的发展。

## 参考文献

- [1] 罗汝深. 电力施工项目中的安全管理问题与方案分析 [J]. 科技风, 2019, (13):174.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201913147.
- [2] 王露, 刘德维. 电力项目施工图预算精度优化策略及其对造价的影响研究 [J]. 工程设计与设计, 2022, (20):242-244.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.10.276.
- [3] 侯本超. 电力施工项目成本控制与工程造价管理策略 [J]. 大众标准化, 2021, (08):223-225.
- [4] 张敏杰. 电力施工项目管理及成本控制重点探析 [J]. 中国新通信, 2021, 23(12):134-135.
- [5] 杜新宇. 电力施工项目成本控制与工程造价管理策略 [J]. 电气技术与经济, 2022, (06):185-187.
- [6] 付和平. M公司电力施工项目的成本控制研究 [D]. 河北工业大学, 2014.
- [7] 周祯淳. 电力施工项目成本控制与工程造价管理策略 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(01):119-121.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.01.040.
- [8] 张小龙. 电力施工项目管理及成本控制重点探析 [J]. 财会学习, 2020, (33):115-116.
- [9] 李楠楠. 电力施工项目成本控制探讨 [J]. 商业经济, 2017, (02):34-35+38.
- [10] 顾雪. 电力施工项目成本控制与工程造价管理分析 [J]. 电气技术与经济, 2023, (03):188-189+192.

# 新能源电力工程在智能电网中的应用与挑战分析

蒋博

中星电力工程（云南）有限公司，云南 昆明 650000

**摘要：**随着我国经济的发展，人们生活水平的不断提高，对于电力能源的需求也随之增加，传统电网的发展已经不能满足社会对电力能源的需求，所以对智能电网建设以及新能源开发工作显得尤为重要。智能电网建设能够有效提高电力能源利用效率，有效改善供电质量，同时也能够促进经济的发展。本文旨在深入探讨新能源电力工程如何融入智能电网的构建与运作之中。通过详尽的分析，文章不仅揭示了这一领域内的应用现状，还系统地评估了在实际应用过程中遇到的种种挑战。这些挑战包括技术、经济、环境以及政策等多个层面，为未来相关研究和实践提供了宝贵的洞见和指导意义。

**关键词：** 新能源；电力工程；智能电网；应用；挑战分析

## Analysis of the Application and Challenges of New Energy Power Engineering in Smart Grid

Jiang Bo

Zhongxing Electric Power Engineering (Yunnan) Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

**Abstract：** With the development of China's economy and the continuous improvement of people's living standards, the demand for power energy has also increased, and the development of traditional power grids has been unable to meet the needs of the society for power energy, so it is particularly important for the construction of smart grids and the development of new energy. The construction of smart grid can effectively improve the efficiency of power energy utilization, effectively improve the quality of power supply, and also promote economic development. The purpose of this paper is to deeply explore how new energy power projects can be integrated into the construction and operation of smart grids. Through a detailed analysis, the paper not only reveals the current state of application in this field, but also systematically assesses the challenges encountered in practical application. These challenges include technical, economic, environmental, and policy dimensions, providing valuable insights and guidance for future research and practice.

**Keywords：** new energy; power engineering; smart grids; applications; challenge analysis

## 引言

近年来，随着国家对新能源发电技术的大力支持，我国新能源发电技术已经取得了长足发展。新能源电力工程在智能电网中的应用不仅能够优化能源结构，还可以推动我国电力行业的发展。因此，在对智能电网进行设计的过程中，应对其进行优化改进，并加大新能源电力工程在智能电网中的应用力度。

## 一、新能源电力工程在智能电网中的应用与挑战分析的必要性

### （一）智能电网的发展方向

我国经济发展进入了新时代，在这一阶段，电力作为社会发展的重要基础能源，在很大程度上促进了国民经济的发展<sup>[1]</sup>。随着经济全球化进程不断加快，电力需求日益增大，人们对电力的需求也逐渐提升，然而，目前电网系统无法满足社会用电需求，

电网运行过程中出现的故障频繁，整体电网建设存在一定缺陷。所以，为了实现电网的高效稳定运行，需要以智能电网为发展方向，从根本上提升电网系统的稳定性和安全性，保证电能供应的可靠性。但是就目前情况来看，我国电力系统自动化水平还比较低，信息处理能力不够强，同时对于电能的预测以及监控力度不够，导致供电质量差，部分地区经常停电，严重影响了人们正常生活和工作。因此，必须加强对智能电网的研究，合理应用新能源电力工程技术，保证智能电网安全、可靠运行，为经济社会可

作者简介：姓名：蒋博，出生年月：1981年7月13日，性别：女，民族：汉，籍贯：云南昆明，学历：大专，从事的研究方向：电气设备或电力器材。



持续发展提供保障<sup>[2]</sup>。

## （二）能够满足现代社会对电力的需求

在我国能源结构中，电力一直占据着重要地位。目前，我国已初步建立起较为完善的电网系统，并且正在向着智能化方向发展。可以说，智能电网是一个以先进技术为支撑，具有高度信息化、自动化以及安全高效等特点的能源传输网络。而新能源电力工程正是利用了智能电网的优势，将太阳能、风能以及核能等可再生能源电力纳入其中，从而实现绿色环保与经济化的统一。由此可见，在智能电网中应用新能源电力工程有着非常重要的必要性。

## （三）促进经济发展

在全球经济的发展中，电能是最主要的动力能源。我国作为世界第二大经济体，国家电网公司的目标就是为了促进电力事业的快速、稳定发展<sup>[3]</sup>。但是传统电网在传输过程中会产生大量的热能和污染物质，对环境造成严重影响，不利于经济的可持续发展。新能源电力工程能够将太阳能等清洁能源转化成电能进行使用，利用智能电网技术实现智能调控，解决了传统电网的诸多弊端，为社会经济的发展提供了巨大动力，也满足了人们日益增长的电力需求。因此，做好新能源电力工程在智能电网中的应用具有重要意义<sup>[4]</sup>。

## （四）可持续发展的需要

在传统能源日渐枯竭的今天，新能源和可再生能源逐渐成为人们关注的焦点。随着我国经济发展水平的不断提升，电力需求也在不断增加，能源结构也在发生着巨大变化。但不可否认的是，目前我国大部分电力资源仍然依赖于煤炭、石油等传统化石燃料。这种能源结构的不合理不仅会造成环境污染，而且对国家可持续发展战略的实现产生不利影响。因此，大力开发和应用新能源已成为电力行业的重要发展方向。作为国家能源战略的一项重要举措，智能电网系统的建设可以充分发挥新能源发电的优势，促进新能源的大规模应用，进一步推动我国经济社会的可持续发展<sup>[5]</sup>。

## （五）提高电力系统的安全性

新能源电力的发电功率相对于传统电力来讲要小很多，但是它能够很大程度上提高电力系统的安全性。由于我国是一个能源匮乏的国家，所以需要从国外进口大量的石油、煤炭等资源，这就会造成能源安全问题，而新能源发电则能够有效避免这种现象发生。例如太阳能、风能、地热能等都属于清洁能源，在这些清洁能源的支撑下，智能电网也将更加稳定可靠，不会出现断电和供电不足等问题，进而保证了整个社会经济活动正常进行<sup>[6]</sup>。

# 二、新能源电力工程在智能电网中的应用与挑战分析的存在问题

## （一）缺乏整体规划

从整体上看，新能源电力工程还没有完全实现智能化的转变，依然需要大量人力物力进行管理，其与智能电网存在着巨大差距。这主要是因为规划阶段缺少统筹的思考，无法将电力系

统中的各部分利益作为重要考虑因素，从而导致各个部分之间缺少配合。另外，目前我国还没有建立完善的管理体系，难以有效处理新能源发电设备和传统电网之间的相互影响，以及新能源发电技术发展缓慢等问题。在这种情况下，就无法使智能电网更好地发挥自身优势，对于新能源电力资源的利用也不够充分<sup>[7]</sup>。

## （二）不合理的电网结构

电力系统中，电力的输送路径较为复杂，其包含了高压输电线路、变电站等，电网与电网之间也会发生相互作用，而在应用智能电网后，由于电力数据量的不断增大，因此要想保证整个系统的稳定性就必须对电网结构进行合理优化。但是现阶段我国的电网建设主要还是以传统电网为主，而且还有一部分地区使用的是农网供电方式，所以导致该电网的结构不合理，不能满足新能源电力工程的应用需求<sup>[8]</sup>。此外，还存在部分区域的供电网络比较薄弱，无法保障电力的安全供应，严重影响了电网运行的质量和效率。

## （三）缺乏专业人才

智能电网作为新能源电力工程的关键支柱，它的构建和发展都依赖于一支专业且经验丰富的人才队伍。这些人才在智能电网的规划、建设以及运行维护中发挥着至关重要的作用，他们的专业知识和技能是确保电网高效、可靠运行的基石。当前我国电网发展规模较大，但相关技术人才却存在缺口，尤其缺乏高水平的复合型人才。而且，在新能源电力工程中，对各种设备的操作以及维护都需要专业人员进行，如果没有专业人才，这些工作就无法顺利开展，更无法实现智能电网与新能源电力工程之间的融合。

## （四）智能化技术的不足

智能电网是我国电网发展的未来方向，然而由于智能化技术的应用不足，致使电力系统智能化水平较低。而在新能源电力工程中，如果要想实现对智能电网的有效应用，就需要相关技术人员能够熟练掌握现代化信息处理技术和电力电子技术等，使其能够与新能源相结合。然而由于我国电力企业员工素质普遍较低、缺乏相应的专业知识及技能培训，导致目前国内电网在运行过程中的自动化程度较差<sup>[9]</sup>。所以，为了确保智能电网的正常运行，就必须加大对电力企业员工的技术培训力度，提升他们的综合能力，同时还应该加强对各种先进技术的研究，充分发挥智能电网的作用，使其能够更好地为经济社会服务。

## （五）相关标准不完善

新能源技术在智能电网中的应用需要严格遵守国家和国际相关的标准，但是由于我国对新能源行业的发展并不完善，因此在标准上存在一定的漏洞。以风电为例，风力发电是通过风车、风轮等机械装置将风能转化为机械能进而实现能量的转换。这种设备在运行过程中会产生大量的噪音和振动，而且还会破坏周围的环境，因此必须进行隔音降噪处理，这就增加了电网建设的成本。如果按照传统的规范进行设计的话，其建设成本可能高达100万元，这对智能电网来说无疑是一个沉重的负担<sup>[10]</sup>。所以为了促进新能源技术的发展，政府应该出台更加合理的政策，完善相关标准。

### 三、新能源电力工程在智能电网中的应用与挑战分析的策略

#### （一）积极推广智能电网

对于新能源电力工程应用于智能电网，首先要做的就是积极推广智能电网。在我国各个地区都能够对智能电网进行大力推广，以便于加快我国智能电网的建设与发展，进一步增强电网的可靠性以及稳定性，使其可以适应不同环境下的电力需求。此外，还要积极构建一个完善、可靠、高效的智能配电网系统，从而实现将可再生能源和分布式发电资源接入到智能配电网中，这不仅可以解决目前电力资源紧缺的问题，同时也为广大用户提供了安全可靠、绿色环保的电能，有效促进社会经济的可持续发展。

#### （二）合理开发利用新能源电力资源

对新能源电力资源进行合理的开发利用，是新能源电力工程应用在智能电网当中的重要环节。在新技术、新方法不断涌现的今天，我们应当积极地开发、利用各种先进技术，例如：太阳能发电、风能发电等清洁能源。这些清洁能源具有可再生性和低污染、低消耗的特点，非常符合我国当前发展低碳经济、实现可持续发展战略的要求，所以也成了智能电网中不可缺少的一部分。但是由于这类能源的不稳定性导致其发电功率会随着天气的变化而发生改变，因此必须有专业的人员来对其进行定期监测、维护和管理，这样才能保证其在稳定情况下发挥出更大作用。另外，我们还可以通过提高相关从业人员素质、加强节能环保意识等方式促进新能源电力资源得到更加科学合理的应用。

#### （三）提高电网运行的可靠性和安全性

为确保智能电网系统的安全可靠运行，可以采取以下措施：第一，优化电网结构，加强电网基础设施建设，以适应新能源发电和负荷发展的需要；第二，不断提高电力设备的质量和性能。同时，还应注重对老化设备的更换和升级，防止设备故障导致停电事故发生；第三，完善电力管理制度，加强技术监督和监管，及时发现并解决问题，消除隐患，保证电网的安全稳定运行。第四，建立健全应急处理机制，制定应对突发事件的预案，提高人

员素质和能力，加强培训，使其熟悉各种应急预案，能够快速有效地应对各种紧急情况。

#### （四）充分发挥智能电网的优势作用

智能电网是基于现代信息技术和计算机技术的发展而形成的，所以在对新能源电力工程进行应用时，要充分发挥智能电网的优势作用。具体来讲就是利用先进的科学技术来对电力系统中的各设备进行控制，以提高整个电网的智能化水平，使其更好地为新能源电力工程提供服务。另外，在使用新能源发电时也要加强管理，可以将不同类型的能源整合到一起，并对各个部分进行优化，实现统一调度和管理，从而满足人们对用电需求的提升。

#### （五）加快智能化的进程

国家电网公司必须深刻认识到新能源电力工程在智能化领域的重要性，积极推动相关政策的完善与发展。公司应针对这一趋势，制订出更具前瞻性和全面性的政策措施，确保技术创新与产业升级同步推进，以促进能源结构的优化调整，推动经济社会的可持续发展。为了提升智能电网的性能，我们必须对一些先进的技术进行引入，并且将其与我国的实际情况相结合，构建一个完整的智能电力系统。此外，国家电网公司还应当加快自身智能化的进程，不断地改进现有的设备，同时还要加强对于新技术的研究。在能源方面，可以大力开发水电、风电以及太阳能等可再生能源，以此来促进智能电网的建设，从而实现低碳经济社会的目标。

### 四、结语

我国能源结构中，煤炭的使用量依然占到了较高的比例，在电力行业发展过程中，这种能源结构问题较为突出。因此，从节能减排的角度出发，应该进一步优化电网运行，尽可能减少电能浪费现象。新能源电力工程能够有效地减少传统电力工程对环境带来的污染，同时能够满足用户对于电能需求的情况。但是在智能电网应用过程中，新能源电力工程仍存在诸多挑战，为了促进新能源电力工程在智能电网中的应用水平提升，相关工作人员必须重点研究。

### 参考文献

- [1]唐文虎,牛哲文,赵柏宁,等.数据驱动的人工智能技术在电力设备状态分析中的研究与应用[J].高电压技术,2020,46(09):2985-2999.DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.20191902.
- [2]刘春丽,单川.基于可持续发展的新能源电力工程造价控制措施研究[J].电工技术,2023,(S1):117-119.
- [3]饶晨.新能源电力工程施工技术研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(30):106-108.
- [4]何洪洋,马松国,张滨,等.基于人工智能的电力基建违章安全管控方法研究[J].电气应用,2023,42(11):50-55.
- [5]蒋桦.新能源光伏发电项目施工进度控制方法[J].自动化应用,2023,64(17):79-81.
- [6]张建坡,孟凡,吴林林,等.基于电气参数加权占比的新能源场站分布式调相机容量配置[J/OL].电网技术,1-11[2024-07-30].https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2023.1063.
- [7]刘乙平.输变电工程施工建设安全管理体系研究[D].沈阳建筑大学,2023.DOI:10.27809/d.cnki.gsjgc.2023.000131.
- [8]戴雄.“双碳”背景下建筑工程绿色施工水平评价及提升对策研究[D].中南大学,2023.DOI:10.27661/d.cnki.gzhnu.2023.005415.
- [9]杨力嘉.JY公司电力工程咨询业务竞争战略研究[D].内蒙古大学,2023.DOI:10.27224/d.cnki.gnmdu.2023.001939.
- [10]段奕琳.含风电的配电网储能优化配置与运行策略研究[D].陕西理工大学,2023.DOI:10.27733/d.cnki.gsxlg.2023.000096.



# 火电厂燃煤效率提升与碳排放减排策略研究

杨鹏里

国家能源集团店塔电厂，陕西 神木 719300

**摘要：** 本研究探讨了火电厂提高燃煤效率和减少碳排放的技术和策略，通过煤炭预处理、燃烧技术改进、余热回收和智能管理显著提升燃煤效率，并采用碳捕集与封存、碳交易和碳税政策及可再生能源替代等措施大幅减少碳排放，为火电厂绿色转型提供了技术路径和政策建议。

**关键词：** 火电厂；燃煤效率；碳排放；减排策略；可持续发展

## Research on Coal Efficiency Improvement and Carbon Emission Reduction Strategies for Thermal Power Plants

Yang Pengli

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

**Abstract：** This study discusses technologies and strategies to improve coal efficiency and reduce carbon emissions in thermal power plants, significantly improve coal efficiency through coal pretreatment, combustion technology improvement, waste heat recovery and intelligent management, and significantly reduce carbon emissions by adopting measures such as carbon capture and storage, carbon trading, carbon tax policy and renewable energy substitution, providing technical paths and policy recommendations for the green transformation of thermal power plants.

**Keywords：** thermal power plant; coal efficiency; carbon emissions; emission reduction strategy; sustainable development

### 引言

#### 1. 研究背景

全球气候变化引发了广泛关注，碳排放已成为影响气候变化的关键因素之一。中国作为全球最大的能源消费国，燃煤火电厂在其能源结构中占有重要地位。随着经济的快速发展，对能源的需求不断增加，如何提升火电厂燃煤效率、降低碳排放成为亟须解决的问题。<sup>[1]</sup>

#### 2. 研究意义

提升燃煤效率不仅可以降低发电成本，提高经济效益，还能显著减少二氧化碳等温室气体的排放，对环境保护和实现可持续发展具有重要意义。碳减排对实现中国的碳中和目标也是至关重要的。

#### 3. 研究目标和方法

本研究旨在系统分析和探讨火电厂燃煤效率提升与碳排放减排的有效策略，以期为实际操作提供理论支持和技术路径。研究方法包括文献分析、数据统计与实地调研相结合，综合评估多种技术方案和政策措施的可行性和效益。

## 一、火电厂现状与问题分析

#### 1. 中国火电厂概况

中国是以煤为主要能源的国家，燃煤火电厂在全国电力结构中占据主导地位。全国范围内存在大量大型、超大型燃煤火电厂，广泛分布在各省市。尽管国家大力推动清洁能源发展，但能源需求的持续增长使得燃煤发电仍然不可或缺。

#### 2. 燃煤效率现状

##### (1) 燃煤效率影响因素

燃煤效率受到多个因素的影响，包括燃煤质量、锅炉类型、燃烧技术及操作管理水平。燃煤质量较差（如高灰分、高湿度）

会显著降低燃烧效率。此外，老旧燃煤设备和技术落后也限制了燃煤效率的提升。

##### (2) 当前燃煤效率水平

尽管近年来通过技术改进和设备升级，一些大型现代化火电厂的燃煤效率已有显著提升，达到国际先进水平，平均热效率接近40%。但在部分地区，尤其是一些老旧火电厂，燃煤效率依旧偏低，平均热效率约为30%左右，与国际领先水平存在较大差距。<sup>[2]</sup>

#### 3. 碳排放现状

##### (1) 各类排放物及其来源

燃煤火电厂是二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫和粉尘等多种污染物的主要来源。燃烧过程中的不完全燃烧和杂质燃烧是主要

作者简介：杨鹏里，出生年月：1998年12月8日，性别：男，民族：汉族，籍贯（陕西省神木市），学历大学本科，职称：工程师，研究方向：火力发电机组集控运行，身份证号：612722198812080754，邮箱892484463@qq.com。

的排放源：

- 二氧化碳（CO<sub>2</sub>）：煤炭主要成分碳的燃烧产物。
- 氮氧化物（NO<sub>x</sub>）：主要来源于高温燃烧过程中的空气氮与氧反应。
- 二氧化硫（SO<sub>2</sub>）：煤中硫分在燃烧过程中生成的气体。
- 粉尘：燃煤中的灰分在燃烧过程中形成的固体颗粒。

#### （2）排放现状与趋势分析

近年来，尽管中国不断加强排放标准和治理措施，但燃煤火电厂的排放总量依然相当可观。随着环保标准的提高和治理技术的进步，SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放量有所减少，但CO<sub>2</sub>排放量仍保持增长态势。主要原因在于能源需求的刚性增长，使得燃煤总量难以大幅减少。<sup>[3]</sup>

总结：中国燃煤火电厂在效率和排放方面仍存在较大改进空间。未来，通过技术创新和政策引导，有望进一步提升燃煤效率，减少碳排放，实现能源利用的绿色转型。

## 二、燃煤效率提升技术研究

### 1. 煤炭预处理技术

洗煤工艺：洗煤是通过机械手段将煤中的杂质去除，提高燃煤的热值和净煤的比例。常用的洗煤方法包括浮选、重选和磁选等。通过有效的洗煤工艺，可极大地减少燃煤过程中的杂质对燃烧效率的影响，同时降低排放。

煤炭掺配技术：煤炭掺配是将不同种类、不同品质的煤按一定比例混合，以优化燃烧性能并提高整体热效率。掺配技术不仅能降低生产成本，还能够调节燃煤的挥发性和含硫量等关键因素，从而达到更高效和更清洁的燃烧效果。

### 2. 燃烧技术改进

优化燃烧系统：通过调整燃烧器和锅炉的设计及其控制系统，使燃料在燃烧室内充分燃烧，从而提高热效率。改进措施包括优化风煤比、使用分级燃烧技术以及采用低氮燃烧器等。

燃烧器与锅炉改造：现代化燃烧器和锅炉改造能够显著提高燃煤锅炉的热效率。

### 3. 余热回收与利用

余热回收系统设计：构建高效的余热回收系统，如利用蒸汽再热装置、余热锅炉和热电联产技术，将废热回收并转化为有用能量。适当的设计和配置可以大幅度提高整体能效。<sup>[4]</sup>

典型应用案例：例如，在某些发电厂，通过实施余热回收改造项目，不仅提高了能源利用效率，减少了燃料消耗，还显著降低了碳排放。这些案例证明了余热回收技术在实际应用中的优势和潜力。

### 4. 智能控制与管理

燃煤过程监控与优化：采用先进的传感技术和实时监测手段，对燃煤过程的关键参数进行实时监控和适时调整，以保证系统运行在最佳状态。这包括优化风煤比、燃烧温度和锅炉排烟温度等参数的管理。

数字化管理平台：建立基于大数据和人工智能的数字化管理平台，实现对燃煤电厂各环节的全面监控与智能管理。通过智能化的数据分析与决策支持系统，可以有效提升电厂的运行效率和管理水平，促进节能减排目标的实现。

## 三、碳排放减排策略研究

### 1. 碳捕获与封存（CCS）技术

#### （1）技术原理与应用

碳捕获与封存（CCS）技术是一种有效减少工业和发电过程中二氧化碳排放的方法。其基本原理是将二氧化碳从排放源捕获，然后通过压缩、运输和封存，最终存储在地下深层构造中，以避免二氧化碳进入大气。当前，CCS技术主要应用在煤炭燃烧电厂、天然气处理厂及某些工业流程中。

#### （2）成本分析与效益评估

CCS技术的实施成本主要包括捕获、运输和封存三个环节。捕获阶段是整体成本的最大部分，约占70%。总体而言，虽然CCS技术成本较高，但其对于降碳目标达成及应对全球气候变化具有巨大的潜在效益。评估显示，随着技术的发展和规模化应用，CCS成本有望逐步下降。

### 2. 碳交易与碳税政策

#### （1）国际碳交易机制

国际碳交易机制是通过市场手段控制温室气体排放的策略，包括欧盟排放交易体系（EU ETS）和清洁发展机制（CDM）等。这些机制允许企业通过交易碳配额或投资减排项目来实现碳排放量的减少，从而促进全球减排目标的实现。

#### （2）国内碳交易市场现状与前景

中国自2013年起陆续在多个省市试点碳交易市场，至2021年全国碳市场正式启动，覆盖领域主要是发电行业。当前国内碳市场尚处在探索和完善阶段，但随着政策支持和市场机制的逐步健全，其未来前景广阔，预计将扩展至更多行业，并显著促进减排效果。<sup>[5]</sup>

### 3. 可再生能源替代

#### （1）可再生能源发电技术

可再生能源发电技术包括太阳能、风能、水力、地热和生物质能等。太阳能光伏发电和风力发电技术因其清洁高效、资源丰富的优势，近年来发展迅猛，装机容量不断攀升。其他如水电、地热和生物质能也在各自适应领域贡献显著。

#### （2）多能互补发电方案

多能互补发电方案通过结合多种可再生能源形式，优化各自优势，提高系统整体稳定性和效率。例如，太阳能和风能发电具有互补性，因此在资源禀赋允许的地区，往往通过建立综合能源系统实现全天候稳定供电，从而有效降低碳排放。

### 4. 政策与法规支持

#### （1）现行支持政策回顾

当前，政府在推动碳减排方面已出台了诸多政策和法规，包括对可再生能源技术研发和应用的财政支持、碳交易市场的建立及完善，以及对传统高排放行业的限额和约束政策。这些政策在推动减排目标达成方面发挥着重要作用。

#### （2）政策优化建议

为进一步提升碳减排效果，政策方面可以考虑以下优化建议：增加对CCS技术的研发投入和示范项目支持；完善碳交易市场机制，扩大覆盖行业和交易规模；加大对可再生能源的政策支持，特别是在分布式能源和储能系统领域；推动地方政府和企业开展减排创新，形成多层次、多元化的减排格局。此外，还需加

强国际合作，共享技术和经验，共同应对全球气候变化挑战。<sup>[6]</sup>

## 四、案例分析

### 1. 国内外典型火电厂案例

#### (1) 燃煤效率提升成功案例

案例一：美国俄亥俄州煤电厂

俄亥俄州的一座主要燃煤电厂进行了一系列技术升级，包括锅炉优化、空气预热器改造和燃煤粉碎设备的引进。通过这些措施，该电厂的燃煤效率提高了4%，每年减少了约50,000吨的煤炭消耗，同时提高了整体发电效率。

案例二：中国神华集团煤炭清洁利用工程

神华集团通过引入超临界和超超临界燃煤发电技术，大幅提升燃煤效率。某特定电厂通过这项技术，煤炭利用效率提高了约7%，每年减少二氧化碳排放量超过1百万吨，成功达到了国际先进水平。

#### (2) 碳减排策略实施案例

案例一：德国莱茵工业区碳捕集与封存（CCS）项目

莱茵工业区通过实施 CCS 项目，将燃煤电厂产生的二氧化碳捕集并储存于地下。项目实施后，成功捕集了70%的二氧化碳排放，该技术在德国得到了广泛推广，极大地减轻了环境负担。

案例二：中国北京华北电力公司碳减排计划

华北电力公司采用了燃烧前脱碳技术，并结合可再生能源的辅助，显著降低了二氧化碳的排放。通过推进这些措施，北京地区空气质量显著改善，碳排放减少了20%以上，成为国内碳减排的标杆企业。

### 2. 成功经验总结

#### (1) 技术创新与应用

a 通过引进和自主研发先进的燃烧技术和污染治理设备，如超临界锅炉、脱硫脱硝系统和 CCS 技术，显著提升了燃煤电厂的运作效率和环保水平。

b 实施智能化和数字化改造，应用大数据和人工智能技术对电厂运行进行实时监控和优化，减少能源浪费和污染排放。

#### (2) 管理与政策支持

a 推动节能减排政策的出台和实施，如碳交易机制和排放标准，激励企业采取措施降低碳足迹。

b 加大环保监管力度，定期对火电厂进行环保绩效评估，督促企业持续改进。

c 提供财政和技术支持，鼓励企业投身于技术革新和环保设备的升级改造，通过政策引导实现企业与社会的双赢。<sup>[7]</sup>

## 五、结论与展望

### 1. 研究结论

本研究通过对火电厂燃煤效率提升和碳减排策略的深入分析，得出以下结论：

- 提升燃煤效率的关键技术：在提升火电厂燃煤效率方面，关键技术包括煤炭预处理、燃烧技术改进、余热回收利用以及智能化管理。这些技术的应用能够显著提高燃煤效率，减少资源浪费。<sup>[8]</sup>

- o 煤炭预处理：通过减少煤炭中的杂质，提高其燃烧性能。

- o 燃烧技术改进：采用先进的燃烧技术，如循环流化床和超超

临界燃烧技术，优化燃烧过程，有效提高热效率。

- o 余热回收利用：通过设备改进与系统优化，将燃烧过程中的余热进行回收和再利用，提高整体能源利用效率。

- o 智能化管理：利用大数据和人工智能技术，对生产过程进行优化管理，实现精细化操作和实时监控，进一步提升燃煤效率。

- 有效的碳减排策略：在碳减排方面，有效的策略包括碳捕集与封存技术、碳交易与碳税政策、可再生能源替代以及政策法规支持。

- o 碳捕集与封存技术：通过先进的技术手段，将二氧化碳从废气中分离并进行安全封存，减少碳排放。

- o 碳交易与碳税政策：通过市场机制与政策手段，鼓励企业降低碳排放，推动绿色发展。

- o 可再生能源替代：在可行的条件下，逐步使用可再生能源替代传统化石燃料，减少碳排放。

- o 政策法规支持：政府制定并严格执行相关政策法规，支持节能减排技术的研发和应用，促进可持续发展。<sup>[9]</sup>

### 2. 发展趋势与前景

展望未来，在技术创新和管理优化的推动下，火电厂将朝着更加清洁高效的发展方向迈进，具体表现在以下几个方面：

- 技术创新与管理优化：未来火电厂将通过持续的技术创新，如高效燃烧技术、智能控制系统等，不断提升能源利用效率，大幅降低碳排放。管理方面，通过应用大数据和物联网技术，进一步优化电厂运行效率，实现精细化管理。

- 绿色转型的支撑：碳捕集与封存技术、可再生能源发电以及多能互补系统将成为火电厂绿色转型的重要支撑，这些技术的发展将大大促进火电行业的环保性能。

- o 碳捕集与封存：不断研发和完善，降低成本，提高捕集和封存效率，推广应用前景良好。

- o 可再生能源发电：如风能、太阳能与火电厂联合运行，提高整体能源系统的环保性与稳定性。

- o 多能互补系统：通过综合利用多种能源，优化能源结构，提高能源利用效率，减少环境污染。<sup>[10]</sup>

- 政策推动与支持：政府将进一步完善节能减排相关政策，提供更多的财政和技术支持，鼓励企业进行技术研发和设备更新，加强环保监督与考核，推动火电行业朝着可持续发展的方向前进。

## 参考文献

- [1] 郭占春. 探讨火电厂锅炉汽轮机系统的节能环保问题 [J]. 应用能源技术, 2023, (07): 34-37.
- [2] 祁桂梅. 浅析电力行业节能减排影响因素及应对策略 [J]. 节能与环保, 2022, (02): 43-44.
- [3] 邵壮. 基于深度强化学习的火电厂运行优化 [D]. 东南大学, 2021. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2021.004000.
- [4] 张欣怡. 碳排放权交易政策对我国火电厂碳效率的影响规律与作用机制研究 [D]. 山东大学, 2022. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2022.004670.
- [5] 朱小娜. 基于环保新形势下电力工业节能减排的研究 [J]. 现代工业经济和信化, 2023, 13(10): 286-287+290. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.10.093.
- [6] 刘秀春. 湖南省工业碳减排潜力及其影响因素研究 [D]. 南华大学, 2019. DOI: 10.27234/d.cnki.gnhuu.2019.000928.
- [7] 孙敏. 我国各省区碳减排潜力的计量与区域经济发展策略研究 [D]. 南京信息工程大学, 2017.
- [8] 钟磊. 中国采掘业碳排放核算及碳减排潜力评估 [D]. 东北财经大学, 2022. DOI: 10.27006/d.cnki.gdbcu.2022.002170.
- [9] 段蒙. 武汉市典型行业碳减排潜力和减排成本分析 [D]. 华中科技大学, 2016.
- [10] 王钊, 王良虎, 胡江峰. 碳排放交易制度下城市减排的机会成本研究——基于中国碳排放试点城市的实证检验 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(06): 57-63. DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2019.06.057.

# 核电厂仪表校验方法的比较及选择研究

刘海琪<sup>1</sup>, 靳文金<sup>2</sup>

1. 中国广核集团有限公司, 广东 深圳 518000

2. 大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 核电厂因其安全性和可靠性的要求, 配置了大量的仪表, 但仪表种类多, 涉及校验方法多样, 工作人员在选择校验方法时多依赖经验传承, 缺乏相对科学的依据, 可能因校验方法选择不当影响工作效率和仪表工作可靠性。本文就核电厂常见的软件校验、磁棒校验和电位器校验三种仪表校验方法进行原理讲解, 并以核电厂实际仪表过程为例详细说明校验步骤, 对比分析三种方法的优缺点。结合三种校验方法的优缺点和核电厂厂房布局以及运行模式开展进一步分析研究, 以期给出核电厂不同场景下仪表校验方法的更优选择建议。

**关 键 词 :** 采集漂移; 软件校验; 磁棒校验; 电位器校验; 温度漂移; 零点; 量程; 偏置

## Research on the Comparison and Selection of Instrument Calibration Methods in Nuclear Power Plants

Liu Haiqi<sup>1</sup>, Jin Wenjin<sup>2</sup>

1. China General Nuclear Power Corporation, Shenzhen, Guangdong 518000

2. Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** Due to the requirements of safety and reliability in nuclear power plants, a large number of instruments are configured. However, there are many types of instruments and various calibration methods involved. Staff often rely on experience inheritance when choosing calibration methods, lacking relatively scientific basis, which may affect work efficiency and the reliability of the instruments due to improper selection of calibration methods. This paper explains the principles of three common instrument calibration methods in nuclear power plants, namely software calibration, magnetic rod calibration and potentiometer calibration, and elaborates on the calibration steps by taking the actual instrument process in nuclear power plants as an example, and comparatively analyzes the advantages and disadvantages of the three methods. Further analysis and research are carried out in combination with the advantages and disadvantages of the three calibration methods, as well as the plant layout and operation mode of nuclear power plants, in order to give better selection suggestions for instrument calibration methods in different scenarios of nuclear power plants.

**Keywords :** acquisition drift; software calibration; magnetic rod calibration; potentiometer calibration; temperature drift; zero point; range; offset

## 引言

核电厂因其特殊的安全属性对仪器仪表的精度有更高的要求, 而环境温度变化、电阻电容老化等因素会导致仪器仪表处理电路性能发生改变, 从而引起输出的漂移<sup>[1]</sup>。如果不及时校验, 输出的信号就会失真, 严重情况下可能影响核电厂电正常监视和控制。针对核电厂仪器仪表常用的软件校验、磁棒校验和电位器校验这三种方法分别介绍其原理和操作方法, 对比总结三种办法的优缺点, 为不同场景的仪器仪表提供更适合的校验方法建议。

## 一、软件校验

### (一) 软件校验原理

软件校验就是在板件或仪表发生零点漂移或增益不符合要求

时, 不对仪表的硬件进行任何改动, 只通过与之匹配的软件对板件或仪表内的存储器进行改写, 通常是将外部信号与基准信号的偏差采集记忆到存储器中, 使板件在每次采样运算时, 自动将外部采集信号减去偏差, 得到校准后的信号。下面以大亚湾核电厂

作者简介: 刘海琪 (1988.07-), 男, 汉族, 四川省宜宾市, 工程师, 大学本科, 核电仪控维修。

靳文金 (1982.05-), 男, 汉族, 安徽省淮南市, 高级工程师, 大学本科, 核电仪控维修。



高速数据采集系统<sup>[2]</sup>（以下简称 KDO 系统）的模拟量采集卡为例，介绍软件校验的基本操作方法。

KDO 模拟量采集卡可以采用在线校验和离线校验两种方法。在线校验即在不解除供电模块和输出线路的条件下，只解除输入信号端进行标准信号注入，通过就地接口连接校验计算机，运行软件和板件进行通讯，对板件进行校验。离线校验则是将板件从仪表柜中拆出，在实验室的专用校验台和计算机进行校验。二者在校验方法上相同，下面以离线电压档校验为例说明。

## （二）电压档校验步骤

1. 运行 canabnew.exe，进入 MODULE CALIBRATION 菜单，选择 F1: KDO Module 项。
2. 进入 KDO MODULE CALIBRATION 菜单，选择 F1: 模拟量采集卡项。
3. 进入 TEST PROGRAM FOR 模拟量采集卡菜单，选择 F2: calibration of 模拟量采集卡项。
4. 进入 I/O debug interface for 模拟量采集卡菜单，根据所校验板件的信号类型选择不同的量程范围（键入数字 1-7）。以选择 1: 0 ~ 10V 档为例。
5. 在模拟量采集卡的电压输入端加上 0 伏电压，接着选择 F1: Zero calibration 项，模拟量采集卡红色指示灯变亮一段时间后灭掉，此时 Zero Calibration Value: 项后面显示 8 位 16 进制数（校验码），检查该码第三、四位为 1a 或 1b 时校验成功。否则选择 F1 再次校验。
6. 在模拟量采集卡的电压输入端加上 10 伏电压后接着选择 F2: Full calibration 项，模拟量采集卡红色指示灯变亮一段时间后灭掉，此时 Full Calibration Value: 项后面显示 8 位 16 进制数，检查该码第三、四位为 ca 或 c9 时校验成功。否则选择 F2 再次校验。
7. 选择 F3: Verify 项，改变输入电压以测试 0 ~ 10V 档的精度。如果不合格，重复上述步骤 5 - 7；直至合格。

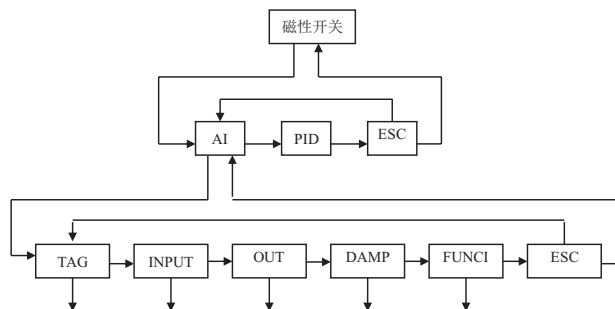
## 二、磁棒校验

### （一）磁棒校验的原理

在具备磁棒校验功能的仪表上，一般配置了两根磁棒，在磁棒旁边的盲孔下面实际有两个磁性开关（也称干簧管<sup>[3]</sup>）安装在变送器内部的电路板上，当外壳上两个调整盲孔分别放上磁棒时，对应磁性开关接通，从而发出了调零或调满量程的信号，内部电路根据外部施加的标准压力温度等信号与对应的内部程序进行自动调整。当磁棒拿开时，磁性开关断开，调整信号中断，内部电路维持调整后的状态，调整后的数据都存储在仪表自身的存储器中。磁棒校验型仪表的原理如下所示。

如图 1 所示，当磁性开关闭合时，回路导通，调整模块 AI 接收到一个高电平信号被触发，芯片从 TAG 中读取原始数据，INPUT 采集输入信号的数据，并与原始数据进行比较，再通过运算处理形成一个新的符合要求的数据，再将新数据返回到 TAG 进行保存，即对 EEPROM 进行刷新。下面柴油机液位传感器校验<sup>[4]</sup>

为例，介绍磁棒校验的基本方法。



> 图 1 磁棒校验原理框图

### （二）柴油机液位变送器磁棒校验方法

1. 将柴油机液位变送器卸下并安装到实验台上。
  2. 将标准打压计连接到工作台的打压接口上。
  3. 连接电路，将万用表串接在输出信号回路上，用以监视输出信号。
  4. 打压到零点对应的压力，取出磁棒，将磁棒轻压在标识 0% 的盲孔上，停留一段时间，待万用表电流示数回到 4mA 后拿开磁棒。
  5. 打压到满量程对应的压力，将磁棒轻压在标识 100% 的盲孔上，停留一段时间，待万用表电流示数回到 20mA 后拿开磁棒。
- 注：若第 4 步中电流回不到 4mA，或第 5 步中电流回不到 20mA，则表明磁棒校验不成功，此时需要改用电位器校验的方法来进行校验。若均能回到目标电流，则表明校验成功。
6. 按照满量程的 0%、25%、50%、75%、100% 输入压力信号，检查进程和回程测试精度，若有一项不符合要求，则要重新校验，直至进程和回程信号全部符合要求。

## 三、电位器校验

### （一）电位器校验原理

以电容式压力变送器为例说明，它采用微位移电容传感器<sup>[5]</sup>，被测压力作用于膜头的隔离膜片，通过灌充硅油传导到电容室（δ 室）的中心感压膜片，使之产生微位移从而改变了电容室的差分电容，经过特殊设计的电子电路，将差分电容的相对值转换为电流信号加以放大输出，电路基本原理如下。

由图可见，它的电路主要包括电容 - 电流转换电路和放大及输出限幅电路两部分。前者由振荡器、解调器、振荡控制放大电路和线性调整电路四部分组成；后者由电流放大、量程调整、零点调整迁移电路、输出限幅电路及阻尼调整电路等构成。电位器本身是平衡电桥中的一个桥臂，通过调整电位器来调节电桥电压输出的对应关系，将基准值向上或向下线性偏移，从而达到调零或零点迁移的目的。

### （二）柴油机液位变送器电位器校验方法

1. 将柴油机液位变送器卸下并安装到实验台上。
2. 将标准打压计连接到工作台的打压接口上。
3. 连接电路。将万用表电流挡串接在输出信号回路上，监视输出信号。



4. 打压到零点对应的压力，使用螺丝刀调整零点螺母，使仪表输出 4mA。

5. 打压到满量程对应的压力，使用螺丝刀调整满量程点螺母，使仪表输出 20mA。

6. 按照满量程的 0%、25%、50%、75%、100% 输入压力信号，检查进程和回程测试精度，若有一项不符合要求，则要重新校验，直至进程和回程信号全部符合要求。

## 四、三种校验方法比较

软件校验法既可以进行在线校验，也可以进行离线校验，校验方法灵活，而且可以充分利用现场信号线进行远程在线校验，这就可以避免在现场恶劣条件下进行工作。软件校验操作简单，校验风险低，但可靠性相对较低<sup>[6]</sup>。

磁棒校验法，现场调整采用磁棒进行调整，无需打开仪表的端盖，在仪表的电路板和接线全部被封闭的情况下，利用磁棒触发仪表内的磁开关，从而使仪表内的电子元件不与现场恶劣环境直接接触。这将大大延长了电子元件的使用寿命，且可以适应更加恶劣的现场环境。另外，由于工业环境一般伴随高温高噪声的职业危害，简单快速的调整也便于保护现场工作人员。磁棒校验操作最简单，校验出错的风险低<sup>[7]</sup>，但其调节范围较小，在仪表出现较大漂移时可能无法校准。

电位器校验的优点在于它是通过硬件调整，比软件校验要可靠<sup>[8]</sup>。当软件校验无法准时时，一般用硬件校验的方法校准。但电位器校验只能在现场进行，而且完全靠手动调节，需要校验人员具备较高的技能水平且校验耗时较长<sup>[9]</sup>。根据现场测试，同一变送器件采用电位器校验比磁棒校验多出一倍时间。电位器校验要比软件校验和磁棒校验风险要大<sup>[10]</sup>，电位器比较脆弱且微调器

件，操作不慎可能会导致电位器损坏，进而导致变送器报废。

## 五、核电厂仪表校验方法选择分析

核电厂从厂房布局来分，主要分为核岛、常规岛和电气厂房；从运行方式来分，简单分为功率运行模式和停堆模式<sup>[11]</sup>。核岛区域在功率运行模式时为封闭区域，其温度、湿度、电磁干扰等环境因素相对稳定，对仪表运行比较友好。但因存在一定的辐照剂量，工作人员一般情况不靠近工作。基于这些因素，对于功率运行期间核岛区域的仪表校验工作，应优先选择软件校验的方式，利用软件校验的远程可操作性优点实现校验。对于停堆工况的核岛区域，人员可以靠近工作，应优选电位器校验的方式，通过修正硬件电路彻底校准仪表，保障下一个循环的可靠性。对于常规岛区域，温度、湿度以及电磁干扰等环境因素相对闭环较大，同时大部分区域存在高温高噪声的职业危害因素，但属于人员可接近区域，应优选磁棒校验，主要出于便利性和人员职业保护的考虑，同时电位器校验可以作为兜底方案。对于电气厂房区域，因其内部温度、湿度等环境因素稳定且不存在职业危害因素，但大部分设备处于在线状态，设备密集度高，应优先选择软件校验，采用软件校验可大幅缩短工作时间，同时避免对相邻设备产生影响，同样电位器校验可作为兜底方案。

## 六、结论

从核电厂常用的三种仪表检验方法分析来看，各有优缺点。工作人员在选择校验方法时，除考虑仪表本身的特性外，还需要结合仪表所在区域、工业环境、职业伤害、时间紧急程度以及可靠性要求等因素综合选择。

## 参考文献

- [1] 乐嘉谦. 仪表工手册 [M]. 化学工业出版社.
- [2] 林诚格. 核电厂仪表与控制 [M]. 中国电力出版社.
- [3] 张华. 王强. 核电厂仪表检测技术研究 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(21): 89-91.
- [4] 李丽. 核电厂仪表校验方法的优化与应用 [J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(03): 82-85.
- [5] 赵阳. 核电厂过程仪表的故障诊断与维护 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2019(02): 38-40.
- [6] 陈晨. 核电厂安全级仪表的可靠性分析 [J]. 核科学与工程, 2017, 37(06): 988-993.
- [7] 刘辉. 核电厂仪表系统的智能化发展趋势 [J]. 自动化仪表, 2021, 42(07): 101-104.
- [8] 王磊. 核电厂压力仪表的校验与维护 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2018(05): 87-90.
- [9] 孙明. 核电厂温度仪表的故障分析与处理 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2019(04): 28-31.
- [10] 张宇. 核电厂仪表控制系统的安全性评估 [J]. 核安全, 2020, 19(03): 45-49.
- [11] 朱继洲. 核电厂系统与设备 [M]. 原子能出版社.

# 浅谈电能计量与采集运维

邬洪飞<sup>1</sup>, 熊志远<sup>2</sup>, 俞杰杰<sup>3</sup>, 陈海胜<sup>4</sup>

1. 国网江西省电力公司乐平市供电分公司, 江西 南昌 330000

2. 国网江西省南昌市青山湖区供电公司, 江西 南昌 330000

3. 国网江西省上饶市广丰区供电公司, 江西 上饶 334000

4. 国网江西省鹰潭市余江区供电公司, 江西 鹰潭 335200

**摘要：** 随着电力行业的快速发展，电能计量与采集运维的重要性日益凸显。本文探讨了电能计量的基本概念、采集技术、运维管理及其智能化发展趋势，分析了国内外的典型案例，以总结经验与挑战。研究表明，准确的电能计量与有效的运维管理能够提升电力资源的利用效率，而智能化进程则为电力管理带来了新的机遇与挑战。未来，电力行业应积极应用新技术，以实现更高效的电能管理与可持续发展。<sup>[1]</sup>

**关键词：** 电能计量；数据采集；运维管理；智能电网；可持续发展

## Talking About Electric Energy Measurement and Collection Operation and Maintenance

Wu Hongfei<sup>1</sup>, Xiong Zhiyuan<sup>2</sup>, Yu Jiejie<sup>3</sup>, Chen Haisheng<sup>4</sup>

1. State Grid Jiangxi Electric Power Company Leping Power Supply Branch, Nanchang, Jiangxi 330000

2. State Grid Jiangxi Nanchang Qingshan Lake District Power Supply Company, Nanchang, Jiangxi 330000

3. State Grid Shangrao City Guangfeng District Power Supply Company, Shangrao, Jiangxi 334000

4. State Grid Yuijiang District Power Supply Company, Yingtan, Jiangxi 335200

**Abstract：** With the rapid development of the power industry, the importance of electric energy measurement and collection operation and maintenance has become increasingly prominent. In this paper, the basic concept, collection technology, operation and maintenance management and intelligent development trend of electric energy metering are discussed, and typical cases at home and abroad are analyzed to sum up experience and challenges. The research shows that accurate power metering and effective operation and maintenance management can improve the utilization efficiency of power resources, and intelligent process brings new opportunities and challenges for power management. In the future, the power industry should actively apply new technologies to achieve more efficient power management and sustainable development.<sup>[1]</sup>

**Keywords：** electric energy measurement; data acquisition; operation and maintenance management of smart grid; sustainable development

## 引言

在当今社会，电力作为基础能源之一，其计量和管理显得尤为重要。随着经济的快速发展和科技的不断进步，电力需求持续攀升，这使得电能计量作为电力系统的核心环节，发挥着不可忽视的作用。准确的电能计量不仅能有效保障电力的合理分配和消费，还为电力市场的公平竞争、节能减排政策的实施提供了数据支持。

近年来，全球范围内的电力市场逐渐向智能化、数字化方向发展，传统的电能计量方式正受到挑战。自智能电表及其数据采集技术的引入以来，电能计量的准确性和有效性得到了显著提升。智能电表能够实时监测电能使用情况，通过数据收集与分析，帮助用户做出更为合理的用电决策。<sup>[2]</sup>

本研究旨在探讨电能计量与数据采集技术的现状及其运维管理，分析智能化发展对电力计量的影响，提出进一步提升电能计量和采集运维的一些具体建议。通过对相关技术与管理方法的分析，希望为电力行业的可持续发展提供有益的参考和启示。

## 一、电能计量基本概念

电能计量是指通过特定设备对电能进行准确测量并记录的过

程，主要用于评估电力的使用情况，确保电费的准确计算和公正分配。随着电力市场的不断演变，电能计量的技术和设备正在不断发展。

作者简介：姓名：邬洪飞（1975.01—），性别：男，汉族，籍贯（江西省南昌），学历：本科，职称：高级技师，工程师研究方向：计量与用电采集。

### （一）电能计量的定义

电能计量是对电负荷、功率和能源消费进行量化的过程，它的核心目的在于以电能消费为依据，确保电力交易的公平与透明。电能计量不仅包括对使用电量的测量，还要对电能的质量进行评价，如电压的稳定性、频率等，以确保电力系统的可靠性。

### （二）电能计量设备

#### 1. 机械式电表

早期的电能计量设备，以机械原理为基础，通过转动的电表盘来计算电能的使用量。机械式电表一般可靠性高，但精度有限，且存在一定的误差。

#### 2. 电子式电表

电子式电表的引入标志着电能计量技术的一次重大进步。这类电表采用电子元件进行数据采集和处理，具有更高的测量精度、响应速度更快和多功能的特点，能够记录多种电力参数，如用电时间分布、瞬时功率等。

#### 3. 智能电表

智能电表是电能计量领域的最新发展，通过内置通信模块实现远程数据传输和实时监测。在智能电网中，智能电表不仅能够记录用电数据，还能为用户提供用电分析报告，帮助用户优化用电行为。<sup>[3]</sup>

### （三）计量原理与技术

#### 1. 电流、电压测量基础

电能的计量通常基于电流和电压的测量，其基本原理是根据欧姆定律和功率公式，计算出电能的消耗量。电能（千瓦时）的测量公式为：

$$E=P \times t$$

其中，E为电能（千瓦时），P为功率（千瓦），t为时间（小时）。

#### 2. 计量误差与校正

由于电能计量设备的精度和稳定性受多种因素影响，因此对计量误差的控制至关重要。定期校准和检测是保障电能计量准确性的必要手段。通过标准设备进行校正，可以消除系统误差及操作误差，确保计量结果可信、可用。

通过对电能计量的基本概念进行深入理解，可以为后续研究电能采集技术及运维管理奠定基础，为电力行业的数字化、智能化发展指明方向。<sup>[4]</sup>

## 二、电能采集技术

电能采集技术是指通过各种手段对电能使用数据进行实时监测和采集的过程，它是电力系统中电能计量的重要组成部分。随着技术的进步和智能电网的发展，电能采集技术不断演化，为电力管理提供了更为准确和全面的数据支持。

### （一）数据采集系统的架构

电能采集系统通常由多个层次构成，包括现场设备层、数据传输层和数据处理层。

#### 1. 硬件组成

数据采集系统的基础是电能计量设备（如智能电表）和传感

器，这些设备负责实时收集用电数据。在此基础上，数据采集系统还可能包含数据集中器和服务器等设备，用于集中管理和处理收集到的数据。

#### 2. 软件支持

数据采集系统需要配备相应的软件来进行数据的接收、存储和分析。这些软件可以用于监控实时数据、生成报表，并提供可视化工具，以便于用户理解和分析电能消费情况。<sup>[5]</sup>

### （二）采集方式的类型

电能数据的采集方式主要包括手动采集和自动采集两种形式：

#### 1. 现场手动采集

传统的手动采集方式通常通过电工定期到现场读取电表数据。这种方法简单易行，但人工操作容易出错，并且效率低下，不适合大规模的电能数据监测。

#### 2. 自动采集系统

随着智能电表的普及，自动数据采集系统逐渐成为主流。通过自动采集系统，用户可以实时获取用电数据，系统可设置为定时将数据传送到中央数据库，实现数据即时更新，提高了采集的准确性和效率。<sup>[6]</sup>

### （三）数据传输技术

电能数据的传输是采集系统中至关重要的一环，常见的数据传输技术包括：

#### 1. 有线通信技术

有线通信方式（如RS-485、光纤等）具有稳定性高、传输速度快的优点，适用于固定场所的数据传输。但在某些场景下，布线成本和维护成本较高。

#### 2. 无线通信技术

无线通信技术（如GPRS、Zigbee、LoRa等）则提供了更大的灵活性和可扩展性，能够在不便布线的环境下实现数据采集。无线技术可以在城市电网以及偏远地区的应用中发挥重要作用。

#### 3. 物联网（IoT）应用

随着物联网技术的发展，电能采集系统可以与云平台相结合，实现大数据分析，提升数据处理能力。IoT设备可以通过互联互通的方式加强信息共享，支持实时监控和远程管理，为电力企业和用户提供更智能的用电解决方案。<sup>[7]</sup>

### （四）新兴技术的影响

随着技术的不断进步，新的传感器技术、区块链技术和大数据分析技术不断涌现，它们为电能采集技术的应用与发展提供了新的机遇，同时也推动了电力行业的效率提升和智能化改革。

通过对电能采集技术的深入探讨，能够更好地理解电力市场中实时监控与数据分析的重要性，为电力系统的优化与升级提供理论基础和技术支持。

## 三、电能计量的运维管理

电能计量的运维管理是指对电能计量设备及其相关系统进行日常维护、故障处理和性能优化的综合性管理活动。有效的运维管理不仅能确保电能计量的准确性和可靠性，还能降低设备故障

率，提高系统的整体运行效率。

### （一）运维管理的重要性

电能计量的准确性直接关系到电力的公平计费和资源的有效分配。因此，运维管理在电能计量过程中起着至关重要的作用。通过定期维护和实时监控，可以及时识别和解决隐患，确保计量设备正常运转，防止因设备故障导致的经济损失和客户信任度下降。

### （二）计量设备的维护与检修

#### 1. 定期检查

定期对电能计量设备进行检查和保养是确保设备稳定运行的基础。检查内容通常包括电表的安装状态、接线情况、外观磨损和生锈情况，以及性能参数的监测等。通过定期检查，能够预防潜在故障，延长设备的使用寿命。

#### 2. 故障排查与处理

当电能计量设备出现故障时，迅速有效的排查和处理尤为关键。对常见故障（如数据异常、通信失败等）进行分析，制定相应的应急预案，以减少故障对正常计量和业务运营的影响。利用智能分析工具，结合历史数据，能够帮助技术人员快速定位问题，缩短恢复时间。<sup>[8]</sup>

### （三）数据管理与分析

#### 1. 数据存储与整理

电能计量过程中产生的大量数据需要进行有效存储与管理。采用数据库管理系统，可以实现对电能数据的集中存储、管理和备份，确保数据的安全性与完整性。同时，对数据进行有效的分类与整理，可以提高后续数据分析的效率。

#### 2. 数据分析工具与方法

随着大数据技术的发展，电能数据的分析也越来越受到重视。利用数据挖掘和机器学习等方法，可以对历史用电数据进行深入分析，从中发现用电趋势和模式，帮助电力公司优化服务和定制个性化的电费方案，从而提升用户满意度。<sup>[9]</sup>

### （四）计量准确性的保障

#### 1. 校准与检测规范

为了确保电能计量的准确性，建立可靠的校准和检测规范显得尤为重要。定期对计量设备进行校验，依据国家计量标准进行检测，可以发现并纠正计量误差，确保数据的真实性和可靠性。

#### 2. 计量标准的建立

制定统一的电能计量标准，不仅有助于提高计量的规范性，也能为行业内不同设备、不同厂家之间的计量结果提供统一的依据。这一标准的建立可通过行业协会、科研机构和电力公司之间的协调合作实现。

通过全面的运维管理，电能计量能够实现高效、稳定的运行，保证电力系统能动态响应社会对电力的需求。这一过程的优化，将为电力行业的可持续发展奠定基础，进而推动整体电力市场的健康发展。

## 四、智能化推进与挑战

随着信息技术的飞速发展，智能化已成为电能计量与采集的主

流趋势。智能电网的建设与发展显著提高了电能计量的准确性和实时性，使得电力管理更加高效。然而，智能化的推进也带来了许多挑战，需要在技术、管理和政策等多个层面进行综合应对。

### （一）智能电网对电能计量的影响

智能电网的建设使电能计量不仅限于传统电表的读数。通过智能电表及相关传感设备，电力企业能够实时监测电能使用情况，获取用电数据和用户行为信息。这些数据可以实时传输至中央数据库，支持远程读取和数据分析，使得电费结算更为精准。同时，智能电网允许用户实时了解自己的用电情况，帮助用户优化用电模式，实现节能减排。

### （二）挑战与问题

#### 1. 数据安全与隐私问题

随着电能采集数据的实时化与集中化，数据安全问题逐渐凸显。电力企业需要严密的数据保护措施，以防止黑客攻击和数据泄露，确保用户的用电隐私不被侵犯。通过加密技术和建立安全防护体系，可以有效降低数据被篡改或盗用的风险。

#### 2. 技术维护与人员培训

智能化系统的复杂性要求企业具备更高的技术维护能力，同时也需对相关人员进行相应的培训。电力工作人员需要掌握新的数据管理工具和分析技术，以应对不断变化的系统需求和业务挑战。因此，持续的专业技能培训和更新是推动智能电网顺利运行的重要保障。

### （三）未来发展方向

#### 1. 人工智能与大数据的应用

人工智能（AI）和大数据技术的结合，能够为电能计量和运维管理带来革命性的变化。利用 AI 算法对历史用电数据进行分析，可以预测未来的用电需求，实现更精确的负荷管理。同时，智能化运维系统可以通过预测性维护，及时识别设备潜在问题，减少故障发生率。

#### 2. 预测性维护与智能运维

未来的电能计量系统将逐步向自我管理、自我诊断的方向发展。通过实时监测和数据分析，电力企业可以对设备运行状态进行动态评估，及时进行维护和更换，以保证系统的稳定性和可靠性。这种预测性维护不仅降低了维护成本，还提高了设备的使用效率。

智能化的推进为电能计量与采集带来了新的机遇，同时也提出了严峻的挑战。面对未来，电力行业需要在技术、管理和政策等层面进行深度融合与创新，以适应快速变化的市场需求，推动电力行业的可持续发展。<sup>[10]</sup>

## 五、案例分析

在探讨电能计量与采集运维的过程中，分析实际案例能够为我们提供宝贵的经验和教训。以下将介绍国内外在电能计量与采集运维方面的典型案例，分析其成功因素与挑战，以期为未来的电力行业提供参考。

### （一）国内电能计量与采集的典型案例

#### 1. 国家电网的智能电网建设

国家电网公司积极推动智能电网的建设，在全国范围内部署



智能电表，实现了对用户用电数据的实时采集与远程管理。该项目借助云计算和大数据技术，实现了大规模的数据分析与挖掘，为电力负荷预测和需求响应提供了有力支持。成功的案例显示，通过智能电表与数据集中器的配合，国家电网能够有效降低运营成本，提高电网的运行效率。

## 2.南方电网的“光纤到户”项目

南方电网在某些城市实施了“光纤到户”的项目，利用光纤通信技术实现电能数据的高速传输。该项目通过构建精准的电能监测系统，实时跟踪用户用电情况，并快速提供数据分析报告，用户满意度明显提升。项目的成功表明，采用先进的通信技术不仅提高了数据传输的可靠性，也增强了电力公司的决策能力。

## （二）国外电能计量与采集的成功案例

### 1.美国智能电表项目

美国在多个州推广智能电表，用户可通过监控系统实时查看自己的用电情况。加州的一项研究显示，用户在获得用电数据反馈后，通常能减少10%至15%的电能消耗。这一案例证明了智能电表在提升用户参与度和节能效果方面的潜力。

### 2.澳大利亚的需求响应计划

澳大利亚实施了一项全国范围的需求响应计划，通过智能电表和智能家居系统，鼓励用户在高峰时段减少用电。该项目利用数据分析工具，实时监测电力需求，成功减少了高峰时段的负荷，降低了电力系统的压力。这一成功案例展示了数据驱动的管理模式对电力市场的积极影响。

## （三）从案例中提炼的经验

### 1.技术集成与创新

成功的案例表明，电能计量与采集的有效实施离不开技术的融合与创新。无论是数据收集、传输还是分析，都应充分利用先进的技术，以提高整体系统的性能。

### 2.用户参与的重要性

各案例中突显了用户参与在电能管理中的重要性。通过提供透明的用电数据和反馈机制，用户更愿意积极参与到节能和需求管理中，进而形成良性循环。

### 3.持续培训与能力建设

高效的运维管理得益于技术人员的专业技能提升。企业应重视对员工的持续培训，以确保团队始终具备应对新技术和挑战的能力。

通过对国内外电能计量与采集运维成功案例的分析，可以清

晰地看出智能化与技术创新在改善电力管理中的重要性，对未来的电力行业发展提供了可借鉴的经验和指导，推动行业整体的转型与升级。

## 六、结论

在电力行业快速发展的背景下，电能计量与采集运维的重要性愈发突出。通过对电能计量的深入研究，不仅能有效提高电力资源的利用效率，还能为电力市场的公平竞争和可持续发展提供有力支撑。

本文探讨了电能计量的基本概念、采集技术、运维管理以及智能化发展趋势，结合国内外的典型案例，我们可以得出以下几点主要结论：

### 1.电能计量与采集的基础性作用

电能计量是电力系统中至关重要的组成部分，其准确性和可靠性直接影响电力的分配与使用。随着智能电表和大数据技术的发展，电能的实时监测与智能化管理已成为可能，这为用户和电力公司双方提供了更为精确的数据依据。

### 2.运维管理的必要性

有效的运维管理是确保电能计量系统稳健运行的基础，定期维护、数据管理和计量校准均是提升计量系统整体性能的关键。通过科学的运维策略，不仅能够减少系统故障，还能优化电力资源的配置。

### 3.智能化进程中的挑战

尽管智能化带来了机遇，但同时也不可避免地面临数据安全、技术维护和人员培训等多重挑战。电力公司需要以开放的态度应对这些挑战，通过技术创新和制度建设提升系统安全性与可靠性。

### 4.未来发展展望

随着人工智能、物联网等技术的不断进步，电能计量与采集的未来将更加智能化、灵活化。电力行业应积极探索新技术在电能管理中的应用，推动电力系统的数字化转型，实现智能电力的高效发展。

通过本文的探讨，我们认为电能计量与采集运维不仅是电力管理的重要环节，更是推动电力行业可持续发展的必由之路。在未来的发展过程中，相关企业和机构应加强技术合作与知识共享，共同应对行业挑战，提升电力管理的智能化水平，促进资源的高效利用和环境的可持续保护。

## 参考文献

- [1] 缪杨. 电能计量采集运维工作的思考 [J]. 通信电源技术, 2019, 36(06): 269-270. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2019.06.125.
- [2] 侯艳, 米晓霞. 关于电能计量采集运维工作的建议 [J]. 民营科技, 2018, (11): 20.
- [3] 杨依国. 低压电能计量集抄技术的应用及发展趋势 [J]. 光源与照明, 2023(10).
- [4] 刘兴奇; 郑安刚; 祝恩国; 邹和平. 电能计量设备全生命周期云平台应用与安全防护策略 [J]. 电器与能效管理技术, 2018(07).
- [5] 黄钰. 电能计量采集与故障处理分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(12): 184-185.
- [6] 陈家钰, 朱天天, 殷振伟. 电能计量中的自动化技术分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(12): 406-407.
- [7] 赵伟, 赵成, 李世松, 等. 对有关电能计量若干问题的思考 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(01): 1-7. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2024.01.001.
- [8] 赵海利. 电能计量设备故障处理分析 [J]. 光源与照明, 2023, (11): 93-95.
- [9] 刘永萌. 电能计量设备故障预防措施研究 [J]. 光源与照明, 2023, (11): 180-182.
- [10] 唐文峰. 电能计量采集运维工作问题思考 [J]. 时代农机, 2019(12).



# 核电站新机组备件批量编码若干质量管控措施

周末

中广核核电运营有限公司，广东 深圳 518000

**摘 要：**对于核电站新机组，备件批量编码是新机组投入商运最为基础的一环，而编码是备件在核电站运营阶段的“身份证”，核电站各专业通过备件编码开展立项、采购、验收、仓储、保养、领用等系列工作。编码数量过大，可能导致备件库存积压，占用资金成本；编码数量过少，可能导致备件储备不足，造成备件保障风险；编码信息错漏，可能导致无法采购备件甚至采购错误备件，进而影响到机组的安全稳定<sup>[1-3]</sup>。本文针对核电站新机组备件批量编码过程质量管控进行探讨，并给出若干建议措施。

**关 键 词：**核电站；新机组；备件；批量编码；质量管控

## Some Quality Control Measures for Batch Coding of Spare Parts of New Units of Nuclear Power Plants

Zhou Lai

China Nuclear Power Operations Co., LTD, Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：**For new units of nuclear power plants, the batch code of spare parts is the most basic link of the new units put into commercial operation, and the code is the “ID card” of spare parts in the operation stage of nuclear power plants. All specialties of nuclear power plant carry out a series of work such as project approval, procurement, acceptance, storage, maintenance and acquisition through the spare parts code. Excessive amount of coding may lead to overstock of spare parts and capital cost; low coding amount may lead to insufficient spare parts reserve and the risk of spare parts protection; error of coding information may lead to failure to purchase of spare parts or even error of spare parts, which may affect the safety and stability of the unit<sup>[1-3]</sup>. This paper discusses the quality control of the batch coding process of spare parts of new nuclear power plant units, and gives some suggested measures.

**Keywords：**nuclear power plant; new unit; spare parts; batch code; quality control

## 引言

核电站新机组备件批量编码工作，在设备运行与维修手册（EOMM）移交电厂维修专业伊始即同步开展，并要求在建机组投入商运前完成批量编码工作，以保证核电站商运后机组的日常维护、首轮大修等所需的备件供应保障。在核电站新机组的建设过程中，早期对于基础性的备件编码工作往往未能给予足够的重视，未能采取有效的质量管控措施。以国内某核电站为例，早期未建立长效的备件编码质量管控机制，在经历较长时间的运营积累后产生的无效编码比例接近一半，极大的增加了运营阶段备件管理成本，加剧了备件库存的积压，导致多轮次备件主数据专项清洗。同时，通过对成熟核电站备件编码工作经验的总结，新建机组对于备件批量编码工作重视度逐步提高，在同代技术路线新建核电机组中，相同口径下的核电站备件编码数量减少比例达到二至四成，取得了较为显著的管控成效。因此，为保证核电站新机组顺利商运，进一步实现核电站新机组备件的精益化管理，将围绕减少备件编码、确保备件编码信息准确与完整、备件编码规范采录等，探讨如何在核电站新机组批量编码阶段做好质量管控<sup>[4]</sup>。

## 一、新机组批量编码阶段面临的主要问题

对于核电站新机组项目，备件批量编码阶段面临的主要问题是缺乏经验丰富的备件编码人员、上游文件质量良莠不齐、备件信息梳理依赖于EOMM审查移交进度。

### （一）缺乏经验丰富的备件编码人员

核电站新机组项目一般没有配备专职的备件编码管理团队，由维修专业人员负责备件批量编码阶段的备件信息梳理、编码申请提报、澄清等环节，而相关人员缺乏编码管理经验。以国内同行某核电站为例，作为其集团内首堆项目，由于缺乏备件编码管

作者简介：周末（1988.10—），男，汉族，湖南省长沙市，大学本科，工程师，核电站备品备件管理。

理经验，早期编码基本未做有效管理，数据库中备件编码达到数十万项、存在大量重复编码，极大的影响到了运营阶段的主数据管理、备件库存储备管理等。新机组项目编码管理经验缺乏通常表现在以下几方面：1）依据 EOMM 梳理设备零部件全清单申请编码，将现场无更换需求的零部件、无单独更换价值的零部件、按组件供货的零部件等申请编码，导致过量编码；2）备件编码信息梳理不准确、不完整、不规范，比如型号、规格尺寸、品牌、材质、供应商零部件编号等关键识别信息出现错漏，国标、行标、厂标等不规范的录入在备注中，导致供应商无法识别或识别错误；3）不具备重码识别能力，比如经验缺乏不掌握备件的重码识别规则、无法打通集团内数据共享进行重码识别，导致本电厂备件编码较多、集团内共码比例过低。

### （二）上游文件质量良莠不齐

新机组项目移交的文件升版迭代较快、成套设备商针对备件信息删减较多，导致上游文件的质量堪忧。以某新机组项目为例，上游文件编制不规范、文件版本未做好管理，备件关键尺寸信息存在错误，导致直接影响机组可用性的重要备件被错误订购，若非发现及时，后果将不容设想。核电站新机组上游文件质量问题主要体现在以下几方面：1）上游文件中备件关键识别信息缺失，厂家内部未建立标准的供应商零部件编号、未提供关键的规格尺寸、备件实际制造厂被抹除，引发到货备件质量严重依赖供应商供货水平、厂家内部重码无法有效识别、外购件严重溢价等问题；2）上游文件中备件信息存在错误，比如备件改型升级后未同步升版文件、引用其他项目文件未核实更新备件信息，这类问题具有较强的隐蔽性，将引发错误的备件编码采购；3）上游文件编制不规范，零部件未在图纸及备件清单中标注、备件关键识别信息未记录在相应章节、仅提供通用装配图纸未注明实际型号设备差异等，导致备件信息梳理遗漏、备件编码缺失重要的技术识别信息、错误的备件编码。

### （三）文件审查移交进展与备件批量编码计划不匹配

批量编码必须以 EOMM 等上游文件为基础梳理备件信息，而上游文件的审查及移交进度受制于工程设计选型、制造、交付等进展，若工程阶段 EOMM 等文件审查及移交进展与备件批量编码计划无法匹配，则无法保证新机组备件批量编码工作在商运前顺利完成。经验表明，多数情况下工程阶段文件审查与移交进展会相对滞后。以某新机组项目为例，自第一罐混凝土浇灌（FCD）起12个月后将开始准备进行备件批量编码，要求在 FCD+54 个月时编码比例不低于90%，而同期上游文件的审查及提交进度仅达75%左右，意味着商运前6个月内需完成近1/4的 EOMM 审查、备件信息梳理、批量编码审查等工作，对该新机组备件批量编码工作造成了极大的挑战，甚至可能影响到新机组投运后的备件保障。

## 二、新机组批量编码阶段采取的质量管控措施

通过汲取核电站备件编码管理的历史经验及教训，在后续的核电站新机组备件批量编码工作中针对性的采取了一系列质量管

控措施。

### （一）组建专业化的备件编码管理团队

随着集团内核电站新机组快速增加，出于群堆管理需要，成立了标准化、集约化、专业化的平台公司，并组建了专职的备件编码管理团队，承接群厂备件编码管理工作<sup>[6]</sup>。主要运作情况如下：1）职业化运作，确保备件编码管理规范化、制度化、标准化，固化备件编码经验与技能，弥补新机组项目备件编码管理经验的不足，打通群厂备件数据，实现群堆管理模式下的集约化管理；2）专业化运作，从备件品类、供应商、专业等维度划分责任田，编制备件主数据质量控制单，明确各类备件关键识别信息、唯一识别方式等，指导编码工作开展，大幅提升编码必要性、唯一性审查效果<sup>[6-7]</sup>；3）加快数字化建设，引入机器人抄录数据、开发备件重码识别专用工具、构建细分备件品类数据模型，有效提高备件编码准确性、唯一性、完整性、规范性<sup>[8]</sup>；4）推进备件技术与质量纵深发展，建设团队备件技术管理核心能力，牵头建设备件采购供应链全流程质量管控措施、提供核电站重要备件识别及质保分级技术支持、承接重要备件或某品类备件采购技术规范编写、牵头全厂共性备件质量问题根本原因分析及经验反馈等，进一步提升备件管理水平，为全厂提供更优质的备件管理服务。

### （二）推动上游文件及备件数据的质量提升

为了提升备件数据质量，针对核电站新机组存在的上游文件质量问题，采取如下措施：1）对于编码集中且配合度高的供应商，开展主数据对接工作，推动供应商数据库的标准化、规范化建设，完善供应商零部件编号、规格尺寸、详细技术参数等关键识别信息。以某大型阀门厂为例，上游文件中备件关键信息缺失、错误，通过供应商主数据对接工作，该厂家备件编码信息完善比例超过80%、新增识别重码比例接近60%；2）针对主要供应商及品类备件，梳理并分析备件特性，结合备件维修特点、与供应商交流成果等，编制主数据质量控制单，有效管控上游文件质量问题带来的主数据质量风险；3）针对工程阶段移交文件频繁升版问题，推动电厂建立文件升版后的备件数据闭环管理机制，有效降低上游文件升版带来的备件编码错误风险；4）对于已记录在案的上游文件质量问题，推动工程与业主方加强文件质量审查，推动供应商提升 EOMM 等文件编制质量。

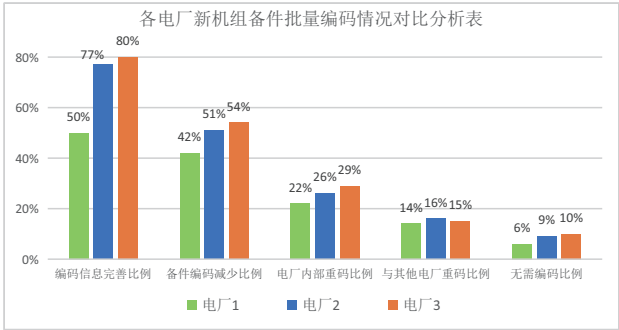
### （三）制定新机组备件批量编码的推进方案

新机组备件批量编码工作的高质量、高效率开展，是实现各项备件管理工作、完成保障目标和库存管理目标的基础，为保障新机组高质量投产，推动制定科学的批量编码推进方案：1）梳理批量编码主要工作内容、制定明确的时间节点，保证方案的有序推进。比如 FCD+X 月前按照计划完成移交编码所需工程文件、FCD+Y 月前生效主数据管理要求与规范程序、商运前按计划完成备件信息梳理及备件批量编码；2）鉴于新机组批量编码数量庞大，须制定合理的进度控制计划并严格实施，确保不因编码进度而影响后续的采购技术规范编写与采购等工作，还应优先推动重要设备相关上游文件提交、备件信息梳理、批量编码审查，并于商运前1至2年完成重要备件编码工作<sup>[9-10]</sup>；3）加强编码质量管理，设置质量监控

指标、制定质量控制措施，针对较为关键的“支持文件移交、备件信息梳理和批量编码审查”三个阶段分别细化管理方案及要求，比如编制《EOMM 审查管理细则》等制度文件、推动核电站与工程共同制定可行的 EOMM 审查与提交计划等。

三、应用与结论

未采取有效的编码质量管控措施前，早期投运机组产生的无效备件编码比例约 40%—50%。采取相应的编码质量管控措施后，新机组批量编码阶段减少的编码比例达 42%—54%，信息完善比例达 50%—80%。下图 1 为某核电集团内不同新机组项目备件批量编码阶段采取相应质量管控措施的实施效果：



> 图 1：各电厂新机组备件批量编码情况对比分析表

其中，电厂 1 采取的质量管控措施包含 3.1、3.2，电厂 2 采取的质量管控措施为 3.1、3.2、3.3 中的部分内容，电厂 3 采取的质量管控措施涵盖 3.1、3.2、3.3 且采用了信息化手段减少编码申请提报。

实践表明，通过组建专业化的备件编码管理团队、提升上游文件及备件数据质量、制定科学的批量编码推进方案等，能够在核电站新机组批量编码阶段大幅减少无效备件编码数量、有效提升备件数据质量水平，相关质量管控措施的采用有助于核电站新机组备件的精益化管理，助力于核电站新机组的安全稳定运行。

参考文献

[1] 吴江琦, 周鑫. 核电机组备品备件储备定额数学模型研究 [J]. 设备管理与维修, 2024, (07):12-16.  
[2] 刘昇, 薛寅, 段伟强. 核电厂备品备件管理浅析 [J]. 中国核电, 2020, 13(05):700-704.  
[3] 吉洁. 浅谈风电企业备品备件的新型管理模式 [J]. 风能, 2018, (02):66-68.  
[4] 冯杰. 某核电 1、2 号机组首炉燃料备件方案研究 [C] // 福建省电机工程学会 2020 年学术年会获奖论文集 (下册). 中核国电漳州能源有限公司生产准备处, 2021:5.  
[5] 韩均先. 能源缺少省区可重点考虑核电站建设的思考 [J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(08):237-238.  
[6] 电站设备备品配件分类与编码导则 [S]. 中华人民共和国电力行业标准 DL 511-93, 1993 年 3 月.  
[7] 陈峥嵘. 智能电力备品备件存储柜的设计和制作 [J]. 科技风, 2018, (24):18.  
[8] 张超, 白秀森. 备品备件智能管理在华能北京燃气机组上的开发与应用 [J]. 电力大数据, 2018, 21(11):38-42.  
[9] 张健, 赵开阔, 向东, 等. 基于重要度的风电机组备件分类策略研究 [J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37(01):77-82.  
[10] 蔡芝明, 金家善, 陈砚桥. 基于关键性的备件库存配置优化模型 [J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(08):1765-1773.

# 压水堆核电厂运行管理领域标准体系研究

谢建军

中广核惠州核电有限公司, 广东 惠州 516300

**摘 要：** 根据中国国家法律、核安全法规、能源行业相关规定和生产运行安全规定等，通过对大型压水堆核电厂运行管理领域标准体系进行研究，分析核电运营领域运行活动规范体系，为规范良好的人员行为以及指导核电站运行人员对机组进行规范控制，为核电站商运期间安全、稳定运行提供技术标准分析。

**关 键 词：** 压水堆核电厂；运行管理；标准体系

## Research on the Standard System in the Operation and Management Field of Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant

Xie Junjun

CGN Huizhou Nuclear Power Co., LTD., Huizhou, Guangdong 516300

**Abstract：** According to China's national laws, nuclear safety regulations, energy industry regulations and production operation safety regulations, through the study of large PWR nuclear power plant operation management standard system, analyze the nuclear power operation activity specification system, to standardize the good personnel behavior and guide the nuclear power plant operation personnel specification unit control, provide technical standards for safe and stable operation analysis.

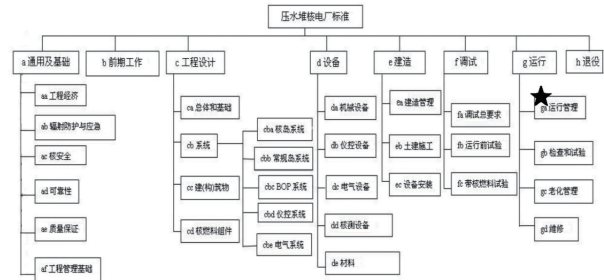
**Keywords：** PWR nuclear power plant; operation management; standard system

### 引言

根据中国国家法律、核安全法规、能源行业相关规定和生产运行安全规定等，通过对大型压水堆核电厂运行管理领域标准体系进行研究，分析核电运营领域运行活动规范体系，为规范良好的人员行为以及指导核电站运行人员对机组进行规范控制，为核电站商运期间安全、稳定运行提供技术标准分析<sup>[1]</sup>。

### 一、核电厂运行领域标准现状

压水堆核电厂采用的法规标准体系主要包括五个层次：国家法律、国务院行政法规、政府部门规章、政府部门指导性文件、技术标准和规范，其中技术标准和规范包括国内外核电专业标准和一般工业标准<sup>[2-3]</sup>。核电厂属于能源行业范畴，其主要的标准规范文件主要为国家能源局颁发的能源行业标准。如图1所示：



> 图1 压水堆核电厂能源行业标准体系

上图为中国国家能源局整理的压水堆核电标准体系结构框图，根据现有中国压水堆核电标准体系研究，核电厂运行领域活

动相应的标准规范主要属于图中 ga“运行管理”模块。ga 模块主要涉及的国家能源局已发布的标准如表1所示：

表1 压水堆核电厂运行管理领域能源行业标准

序	标准编码	标准名称
1	NB/T 20455-2017	核电厂运行绩效评估准则
2	NB/T 20436-2017	核电厂水化学监督导则（压水堆核电厂水化学控制）
3	NB/T 20454-2017	核电厂培训体系要求
4	NB/T 20257-2013	核电厂操作人员执照考核标准
5	NB/T 20015-2010	核电厂操作人员培训及考试用模拟机
6	NB/T 20383-2016	核电厂高和超高辐射区的进入控制
7	NB/T 20359-2015	核电厂技术状态（configurations）管理
8	NB/T 20427-2017	核电厂防止人因失误管理
9	NB/T 20368-2016	核电厂变更管理
10	NB/T 20313-2014	核电厂运行文件体系
11	NB/T 20317-2014	核电厂运行经验反馈管理
12	NB/T 20429-2017	核电厂事故处理规程编写要求

作者简介：谢建军（1986.12-），男，汉族，湖南省衡阳市，中广核惠州核电有限公司，工程师，本科，研究方向：核电厂日常生产管理策划，核电厂运行生产准备。



序	标准编码	标准名称
13	NB/T 20369-2016	核电厂严重事故管理（核电厂严重事故管理导则的编制实施）
14	NB/T 20320-2014	核电厂地震运行管理（核电厂地震响应准则）
15	NB/T 20314-2014	核电厂系统瞬态统计

## 二、核电厂运行领域标准体系分析

本文内容主要根据国内外现有法律法规和标准，结合运行领域工作特性进行分析，梳理运行管理体系各主要方面的要求，进行综合分类及分析归纳。

### （一）核电厂运行管理体系要素

主要可以从三个方面对生产管理之运行活动领域进行分析研究：运行组织与管理、运行文件体系、运行人员行为规范。

#### （1）运行组织与管理

电厂必须建立一套完善的运行组织与管理体系，明确电厂的生产运行指挥调度关系，确保机组生产有序进行。按照国家核安全法规、能源行业相关规定和公司生产运行安全规定的要求，建立各项运行管理制度和运行指挥调度体系，并对生产运行调度活动中出现的问题进行协调，当核电厂发生设备缺陷或降级工况时，需要做出适当的运行决策，保证核电机组安全、可靠运行。并指导运行人员正确处理，并及时修复缺陷，保证机组安全、可靠运行<sup>[4-5]</sup>。

#### （2）运行文件体系

为保证核动力电厂安全运行，营运单位必须制定一组反映核动力厂最终设计的一系列运行限值和条件，核动力厂的运行必须遵守国家核安全监管部门批准的运行限值和条件，并通过制定和

实施运行规程来实现。核动力厂的运行文件必须与运行限值和条件相一致，并保证运行限值和条件的贯彻执行。指导核电站运行人员对机组系统进行各种操作和监护、处理系统和设备故障及各种事故<sup>[6-7]</sup>。

同时，核电站需要编制和现场系统、设备、构筑物完全一致的各类图册，包括系统流程图、电气图、控制逻辑图、厂房布置图等，也属于运行文件体系的范畴。

运行技术文件是核电站运行的基础性文件，使核电站的一切操作有章可循，对保证机组的安全运行具有十分重要的意义。

#### （3）运行人员行为规范

运行人员是否遵守正确的行为规范、养成良好的工作习惯、准确地使用防人因失误工具，是关乎机组安全稳定经济运行的至关重要因素，电站必须编制明确的程序来规范各个运行岗位人员的职责和行为要求，以促进运行人员行为规范建设，切实规范人员行为习惯，提高防人因失误水平，有效提升运行工作质量，从而保证机组安全稳定运行<sup>[8-9]</sup>。

### （二）标准适用分析

国内核安全法规、核安全导则，以及国家标准 GB、能源行业标准 NB、核行业标准 EJ 和电力行业标准 DL 分别对核电厂运行相关内容进行了规定和要求。

分析比对运行领域标准体系主要以国内法律法规、核安全导则、国家标准和能源行业标准为主要依据，参考国外 IAEA、INPO、WANO、NRC、EDF 等发布的导则、规定和技术文件，全面分析运行领域在运行组织与管理、运行文件体系以及运行人员行为规范三个方面已发布的规范文件，根据分析结论，国内现有标准体系在运行领域基本可以涵盖以上三个研究方面的内容和要求<sup>[10]</sup>，具体分析内容如表2所示：

表2 压水堆核电厂运行管理领域标准体系分析表

序	研究领域	标准范畴	规范要求	已发布的相关规范文件
1	运行组织与管理	核电厂应急计划与准备管理	核电厂应急计划与准备或者是地震等外部灾害响应中对于运行专业人员的组织机构和应急响应时参与情况的要求	《核电厂应急计划与准备准则》（GB/T17680.6-2003）《核电厂地震响应准则》NB/T 20320-2014
2	运行组织与管理	核电厂运行经验反馈管理	核电厂经验反馈体系中运行专业领域承接内外部经验反馈工作的要求	《核电厂运行经验反馈管理》（NB/T 20317-2014）
3	运行组织与管理	核电厂运行值班管理	核电厂运行班组值班管理以及交接班管理要求	HAD103/06-2006《核动力厂营运单位的组织和安全管理》
4	运行组织与管理	核电厂隔离与隔离许可证管理	核电厂隔离准备、实施、核查管理与隔离许可证管理	INPO 导则 15-006-2015《Equipment Clearances》《核电厂安全重要仪表和控制系统隔离准则》NB/T 20060-2012
5	运行组织与管理	核电厂运行绩效评估管理	核电厂运行专业领域的绩效目标以及如何实现这些目标的准则	《核电厂运行绩效评估准则》（NB/T 20455-2017）
6	运行文件体系	核电厂运行文件体系	核电厂运行专业领域文件体系分类、编制与管理的规范要求	《核电厂运行文件体系》NB/T 20313-2014
7	运行文件体系	核电厂技术规格书分析编制	压水堆核电厂技术规格书编制的依据、原则、内容和要求	《压水堆核电厂技术规格书编制准则》NB/T20319-2014
8	运行文件体系	核电厂故障/事故分析与规程编制	核电厂故障及事故运行工况分类规范以及相应事故工况分析和适用程序的编制要求	《压水堆核电厂工况分类》NB/T20035-2011 《核电厂事故处理规程编写要求》NB/T 20429-2017 《压水堆核电厂事故分析和安全判据》NB/T 20103-2012 《核电厂严重事故管理导则的编制和实施》NB/T 20369-2015
9	运行人员行为规范	核电厂防止人因失误管理	核电厂防人因失误管理所应具备的条件及核电厂运行专业领域所应开展的活动	《核电厂防止人因失误管理》NB/T 20427-2017
10	运行人员行为规范	核电厂运行人员行为规范	运行人员各岗位防人因失误行为规范管理	INPO 良好实践 06-002《Human Performance Tools for Workers》



### 三、结语

根据分析中的标准范畴，运行领域大部分的管理范畴内均已发布能源行业标准文件，但是在“核电厂运行值班管理”“核电厂隔离与许可证管理”和“核电厂运行人员行为规范”三个方面仍缺少对核安全法规、核安全导则以及相关规范文件细化的能源行业标准文件。

这几项主要涉及的是运行值班、交接班以及在隔离活动和工

作许可证管理方面、运行人员行为规范方面需要遵循的管理原则与要求，确保机组的状态得到有效的监控，确保运行活动能够有效控制机组的安全和稳定的标准要求，保证工作人员的人身安全、设备安全和核安全相关系统的可用性。对于运行人员防人因行为规范管理，应该规范人员工作行为方式，对于防人因工具的管理和使用作出要求，以提高人员工作的准确性和规范性，提高电厂的运行的安全可靠性和经济性。

### 参考文献

- [1] 曹述栋. 中国核电标准发展与体系建设 [J]. 中国核电, 2008, (02):126-129.
- [2] 付在伟, 顾申杰, 田林, 等. 中国核电标准体系建设方法研究 [J]. 核标准计量与质量, 2014, (03):14-19.
- [3] 曹述栋. 中国核电标准发展与体系建设 [J]. 核标准计量与质量, 2007, (04):24-28.
- [4] 董瑞林. 我国核电标准体系建设的规划和实施 [J]. 核标准计量与质量, 2007, (04):37-39.
- [5] 修炳林. 在“中国先进核电标准体系研究”课题启动会上的讲话 [J]. 核标准计量与质量, 2012, (03):2-4.
- [6] 傅涛, 周涛, 张明, 等. 我国核电标准体系建设途径研究 [J]. 国防技术基础, 2009, (07):10-13.
- [7] 刘小强. 浅析核电厂运行值人因管理工作的开展 [J]. 科技创新与应用, 2016, (07):141.
- [8] 徐涛. 核电厂运行的人因失效分析和预防建议 [J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(17):223-224.
- [9] 尹浪, 陈传伟, 徐阳, 等. 核电厂运行手册开发研究 [J]. 科技视界, 2020, (08):244-247.
- [10] 郑丽蓉, 陶书生, 王倩, 等. 核电厂运行事件报告准则研究及应用 [J]. 核安全, 2021, 20(05):27-33.

# 永磁调速器在风机节能改造中的应用

陈健, 魏晓明

陕西渭河煤化工集团有限责任公司, 陕西 渭南 714000

**摘 要 :** 通过增加永磁调速器对风机转速进行调整, 负载的转速降低, 运行电流下降, 达到降速节能的目的; 同时使用永磁调速器替代原有的联轴器, 把原来的硬联接改为非接触性的软联接, 解决安装对中问题, 减少设备振动, 提高电机与负载的可靠性、安全性, 实现了节能降耗与安全运行的双赢。

**关 键 词 :** 风机调速; 节能降耗; 设备安全

## Application of Permanent Magnet Speed Governor in Energy-Saving Transformation of Fan

Chen Jian, Wei Xiaoming

Shaanxi Weihe Coal Chemical Group Co., LTD., Weinan, Shaanxi 714000

**Abstract :** The speed of the fan is adjusted by adding a permanent magnetic speed governor, the speed of the load is reduced, the running current is reduced, and the speed is reduced to save energy, the original hard connection is changed into non-contact soft connection to solve the problem of installation alignment, reduce equipment vibration, improve the reliability and safety of motor and load, and realize the win-win of energy saving and safe operation.

**Keywords :** fan speed regulation; energy saving; equipment safety

### 引言

在工业设计过程中, 一般要考虑建设前, 后长期工艺要求的差异, 使裕量过大。如《火力发电厂设计技术规程》(SDJ1-79) 规定, 燃煤锅炉的鼓风机、引风机的风量裕度分别为5%和5 ~ 10%, 风压裕度为10%和10% ~ 15%<sup>[1]</sup>。另外, 设计过程中很难计算管网的阻力, 并考虑长期运行过程中可能发生的各种问题, 通常总把系统的最大风量和风压裕量作为选型的依据, 但风机的系列是有限的, 往往选不到合适的风机型号就往上靠, 大20% ~ 30%的比较常见。在实际工作时, 再采用调流设备来实现实际所需的流量<sup>[2]</sup>。

如果采用挡板调节, 即使在机组满负荷运行的工况下, 挡板开度也较小, 而风机的一个特点是负载转矩与转速的平方成正比, 轴功率与转速的立方成正比。如果可以根据所需要的流量调节转速, 就可以获得很好的节电效果<sup>[3]</sup>。本文以陕西渭河煤化工集团有限责任公司220t/h CFB锅炉二次风机永磁调速器节能改造为研究对象, 通过改造前后风机运行参数分析和经济性核算, 为同类型CFB锅炉风机节能改造提供了实践参考。

### 一、锅炉运行情况概述

陕西渭河煤化工集团有限责任公司动力装置3#锅炉是由无锡华光锅炉股份有限公司设计制造, 型号为UG-220/10.8-M 循环流化床锅炉, 锅炉额定负荷为220T/H, 蒸汽压力10.8MPa, 温度525℃<sup>[4]</sup>。锅炉用风主要由一台一次风机、一台二次风机供给。一次风主要用于床料流化、给煤系统播煤风、密封风, 燃烧器点火风和冷却风; 二次风经二次风机升压后分两路送至炉膛前后墙上的26个二次风喷嘴进入炉膛, 为分段燃烧提供空气。二次风机设计参数为:

电机			风机		
型号		YKK450-4	型号		
功率	kW	500	额定流量	m <sup>3</sup> /h	113200

电机			风机		
型号		YKK450-4	型号		
额定电压	kV	6	额定扬程	m	11.8
额定电流	A	58			
功率因数		0.86			

表1-1 二次风机设计参数表

2010年进行了变频器改造, 经过近10年运行, 变频器故障较多, 2019年电气停运变频系统, 改为工频运行。工频运行采用入口挡板调节风量, 节流损失造成二次风机的无功功率浪费严重, 风机电耗较大; 改造前进行了风机能效测试, 根据测试结果, 对照风机特性曲线, 该风机运行偏离设计工况, 运行效率为42.7%, 导致功耗较高。同时风道憋压振动, 风机高转速运行轴承振动较大, 对装置安全稳定运行极为不利。

作者简介: 陈健(1990年—), 男, 陕西渭南, 职称及研究方向: 热能与动力工程中级工程师。

## 二、电动机调速技术分析

以前绝大部分风机都采用风门挡板调节流量,造成大量的节流损耗,直到上世纪七十年代,都采用机械调速或滑差电机调速,但这属于低效调速方式,仍有较大的能量损耗,并且驱动功率受到限制;到上世纪八十年代,开始采用液力耦合器调速,并且突破了驱动功率的限制,向大功率方向发展,但它与滑差电机调速一样,属于低效调速方式仍有较大的能量损耗<sup>[5]</sup>。直到上世纪九十年代,随着电力电子技术和计算机控制技术的发展,变频器很快占领电动机调速市场。近年来,随着国内对稀土永磁材料的研究逐渐增多,利用稀土永磁材料的性能特点,多种不同的永磁设备开始出现并被投入使用 其中永磁调速器是一种典型的具有调速节能性能的永磁设备。永磁调速技术是近年来国际上开发的一项突破性新技术是专门针对风机、泵类离心负载调速节能的适用技术<sup>[6]</sup>。

目前,大功率高压异步电动机的主要调速方式有以下几种:液力耦合器调速、变频调速和永磁传动与调速器调速等。其调速特点分析如下:

液力耦合器调速:调速范围有限,高速丢转约 5% ~ 10%,低速转差损耗大,最高可达额定功率的30%以上,精度低、线性度差、响应较慢,启动电流大,装置大,不适合改造;容易漏液、维护复杂、费用大,不能满足提高装置整体自动化水平的需要。

高压变频器调速:是目前应用比较普遍和相对先进的技术,采用电力电子技术来实现对电机的速度进行调节,可以有效根据实际工况来自动控制,可以实现较高效率的节能效果,但是工作时产生谐波,电子组件多且老化快,对环境要求高、而且高压环境下故障率高,安全性差,需要专业人员维护,维护费用高,设备使用年限短。

永磁传动与调速器:永磁驱动技术是近年来国际上开发的一项突破性新技术,是专门针对风机、泵类离心负载调速节能的适用技术。具有调节范围广、响应速度快、设备结构简单,故障率低,后期维护成本低、可靠性高使用寿命长,可在-10℃~+50℃环境温度条件下长期使用等优点<sup>[7]</sup>。

经过各方面的综合考虑,最后选用了当前最先进可靠的永磁传动与调速器调速方式。

## 三、永磁调速技术简介

### (一) 永磁调速原理

永磁驱动技术是近年来国际上开发的一项突破性新技术,采用磁力非接触传递扭矩,它具有高效节能、高可靠性、无刚性连接传递扭矩、可在恶劣环境下应用、极大减少整体系统振动、减少系统维护和延长系统使用寿命等特点<sup>[8]</sup>。

永磁调速器结构由四部分组成:1.是与永磁体做相对运动的导磁体;2.是将导磁体与负载连接的驱动轴;3.是调节机构,通过执行器调节导磁体与永磁体之间气隙大小,来控制输出扭矩和负载转速大小。4.是带有稀土材质的永磁体,当连接导磁体的电机旋转时,与连接在负载侧的永磁体产生感应磁场,实现隔空传递能量;永磁调速器

是通过调节扭矩来实现速度控制,电机输出到永磁调速器的扭矩和永磁调速器输出到负载的扭矩是相等的。这样,我们可以根据负载实际运行过程中扭矩的大小来调整电机输出端扭矩(永磁调速器输入端的扭矩)<sup>[9]</sup>。负载要求扭矩小,电机输出扭矩小,相应输出功率也小。当永磁调速器接到一个控制信号后,如压力,水流量,液面高度等信号传到永磁调速器的接线箱,接线箱对信号进行识别和转换后,产生一个机械操作指令,来调节导磁体与永磁体之间的间隙大小,从而根据适时的负载输入扭矩的要求,调节永磁调速器输出端的扭矩大小,来最终改变电机输出功率大小,实现电机节能和提高电机工作效率。适用于需要实现负载过程控制;替代变频器进行节能改造;以及不控制电机,直接对负载进行控制的场合。

### (二) 永磁调速的优点

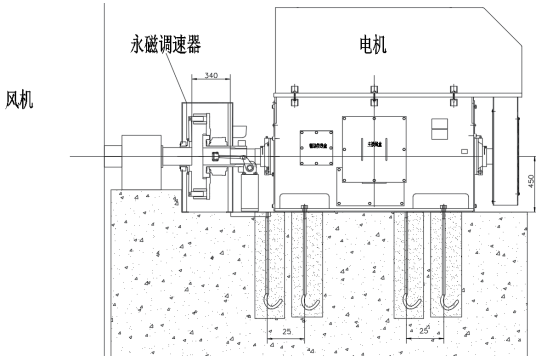
永磁调速器按照结构型式分为分为双筒型结构、盘式结构、绕组式结构、单筒式结构等几种结构形式。相对于使用挡板调节,永磁调速器有以下优势:

- (1) 环境适应性强,可在潮湿、粉尘、易燃易爆、谐波严重、电网波动大等恶劣环境正常工作。
- (2) 绿色环保,无谐波、无电磁波干扰,对电网无污染。
- (3) 设计使用寿命25年,维护成本低,基本免维护。
- (4) 高效节能,节能率为25%以上,性价比极高。
- (5) 无级调速,调速范围0% ~ 97%,在运行过程中可任意调节。
- (6) 相对无机械连接,隔离振动,延长传动电机、风机或水泵的使用寿命。
- (7) 可实现电机空载启动,大幅度降低电机的启动电流,减小系统冲击。

## 四、二次风机改造方案

### (一) 改造施工方案

本次改造拆除二次风机原蛇簧联轴器,在电机和风机之间安装永磁调速器,电机根据调速器尺寸向后平移,在相对应的位置重新水钻4个地脚螺栓孔 $\Phi 150\text{mm}$ ,深500mm,用来固定后移的电机底座。



> 图3-1 永磁调速器安装示意图

### (二) 永磁设备参数

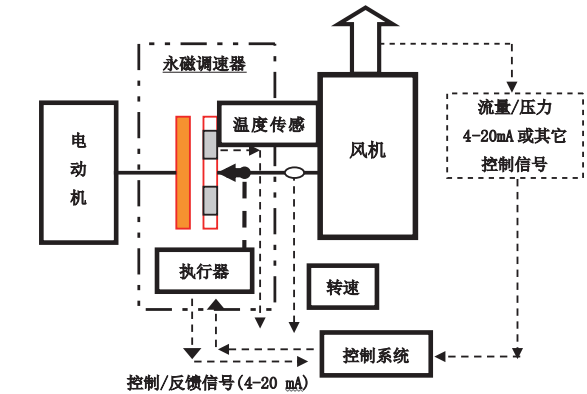
根据二次风机运行参数,本次改造采用 YTF-750 型盘式永磁调速器,设备参数如下:

表4-1 永磁调速器性能及参数

YTF-750性能及参数		
适配功率 (kW)	500	
适配转速 (rpm)	1500	
额定扭矩 (N·m)	3300	
线性峰值扭矩 (N·m)	4200	
气隙调整范围 (mm)	4.4 ~ 41	
效率	96%	
调节精度	≤ 1%	
响应时间	≤ 1s	接到动作指令
环境温度 (°C)	-40°C ~ 65°C	
噪音 (dB)	< 90dB	
结构方式	盘式结构 (ABBA)	
冷却方式	自然风冷	
规格 mm 直径 × 轴端距	φ930 × 830	
估重 (Kg)	950	

(三) 自动控制方案

永磁调速器的气隙调整通过电动执行器来完成。根据工艺要求从负载上取出流量、压力或液位等控制信号，送到 PLC 系统进行 PID 调节计算，发出 4 ~ 20mA 信号送到执行器，执行器产生机械控制指令控制永磁调速器的执行机构，改变永磁盘和导体盘之间气隙的大小，从而改变负载的速度，实现负载速度的变化。重复上述过程即可实现闭环控制<sup>[10]</sup>。整个控制系统可以实现全自动控制或手动控制，当自动系统故障时，可通过执行器手动调节气隙。



> 图3-2 控制部分结构示意图

(四) 冷态调试数据

风机启动后逐渐全开风机入口挡板，通过调整永磁调速器执行器开度调整风机转速，每次增加10%，记录一次风机主要运行参数，具体调试数据如下：

表4-2 二次风机永磁调速器冷态试验数据表

永磁执行器开度	电流 A	转速 rpm	风压 kPa	风量 km3/h	轴承温度 °C	导体温度 °C	轴承振动 mm/s
0%	23.7	440	0.75	41	25.3	35.8	0.5
10%	24	530	0.82	48	27.8	46.4	0.5
20%	24.7	656	1.23	59	28.4	51.2	0.6
30%	27.5	802	1.79	70	29.5	56.7	0.8
40%	31.6	964	2.35	81	30.6	60	0.9
50%	37	1104	3.78	90	30.6	61	0.9

五、改造效果分析

为了验证二次风机节能改造效果，进行了72小时性能考核，对风机主要运行参数进行了对比，改造前后风机运行参数对比如下：

表5-1 二次风机运行数据统计

挡板开度 %	电流 A	转速 rpm	风压 kPa	风量 km3/h	轴承振动 mm/s	备注
50	49.5	1485	6.23	71.5	3.4	改造前
49	49.3	1485	6.09	71	3.3	
50	51.2	1485	6.37	75	3.3	
100	35	1120	5.51	73	1.0	改造后
100	35.9	1136	5.71	75	1.1	
100	36.2	1126	5.65	75	1.1	

通过数据对比分析在相同工况下，二次风机改造后运行电流从51A降至36A，以全年运行7000小时、每度电0.5元计算，全年节约电费：1.732×6×15×7000×0.5=54.558万元节能效果明显。

六、结论

(1) 永磁调速器的有效应用能够切实明显地节约电能。在相同工况下，3#锅炉二次风机改造后运行电流从51A降至36A，节能率29.41%。

(2) 永磁调速器能够很好的处理掉系统负载当中的软启动、过载保护以及减震等诸多问题。风机转速降低，风压及风机振动值下降，风机运行中风道憋压振动情况明显改善，风机运行安全得到了极大的提升。

(3) 永磁调速器在我公司3#锅炉二次风机节能改造项目的应用，实现了风机节能降耗与安全运行的双赢，可以在同类型风机节能改造中推广应用。

参考文献

[1] 循环流化床锅炉优化改造技术（黄中编著，中国电力出版社2019.3）。  
[2] 泵与风机节能技术（魏新利 化学工业出版社2011年）。  
[3] 李亨. 永磁调速器在锅炉风机上的节能改造分析与应用 [J]. 中国设备工程, 2023,(12):147-149.  
[4] 无锡华光锅炉股份有限公司设计制造的型号为UG-220/10.8-M 循环流化床锅炉说明。  
[5] 李伟, 林晓斌. 燃煤电厂脱硫浆液循环泵节能改造及效果分析 [J]. 节能与环保, 2022,(12):77-79.  
[6] 李旭, 董达, 陈学兵, 等. 电厂锅炉送风机节能改造方案分析 [J]. 黑龙江电力, 2022,44(03):267-270.DOI:10.13625/j.cnki.hljep.2022.03.015.  
[7] 姚杰. 永磁调速技术节能分析 [J]. 电气时代, 2021,(06):58-60.  
[8] 郑志强. 电厂泵与风机节能技术探讨 [J]. 才智, 2011,(18):86.  
[9] 薛宏伟, 王-宁. 永磁调速器的原理及节能分析 [J]. 节能, 2017,36(2):65-67. DOI:103969/j.issn.1004-7948.2017.02.018.  
[10] 渭化集团二次风机永磁调速节能改造可行性论证报告。



# 核电站备件采购 workflow 调度优化

李艺<sup>1</sup>, 梁海勇<sup>2</sup>

1. 中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

2. 华润电力控股有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题, 引入 workflow 管理技术, 对核电站备品备件采购 workflow 进行建模, 并设计遗传算法进行求解, 最后通过算例分析, 说明基于 workflow 优化的调度方式较原来是人工调度方式有明显优势, 在有限的人力资源条件下备件采购效率得到提升, 采购时间得到缩短, 用户满意度得到提升。

**关 键 词 :** 核电站备件; 采购 workflow; 调度优化; 遗传算法

## Optimization of Workflow Scheduling for Spare Parts Procurement in Nuclear Power Plants

Li Yi<sup>1</sup>, Liang Haiyong<sup>2</sup>

1. China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

2. China Resources Power Holdings Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** This article addresses the problem of A Nuclear Power Company's inability to purchase spare parts in a timely manner to meet installation requirements. Workflow management technology is introduced to model the procurement workflow of spare parts for nuclear power plants, and a genetic algorithm is designed to solve it. Finally, through case analysis, it is shown that the scheduling method based on workflow optimization has significant advantages over the original manual scheduling method. Under limited human resources, the efficiency of spare parts procurement is improved, the procurement time is shortened, and user satisfaction is enhanced.

**Keywords :** spare parts for nuclear power plants; procurement workflow; scheduling optimization; genetic algorithm

## 引言

核电站备件的及时供应, 对于核电站安全运行至关重要。

本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题, 引入 workflow 管理技术, 优化调度核电备件采购任务分配方式, 在有限的人力资源条件下提升备件采购效率, 缩短采购时间, 从而提升用户满意度。

由于信息技术发展, workflow 技术已在诸多行业有所应用。张晓鹏<sup>[1]</sup>探讨了企业 OA 系统 workflow 精细化管理模式; 蒋纯辉<sup>[2]</sup>选用动态 workflow 应用于办公自动化系统; 张书林<sup>[3]</sup>基于 workflow 技术对煤矿瓦斯治理方法进行研究。辛华强<sup>[4]</sup>将 workflow 技术应用于优化企业的人员配置。曹伟<sup>[5]</sup>探索了 workflow 技术在长春社保业务系统中的应用。洪环环<sup>[6]</sup>将 workflow 技术应用在高校工会管理系统提高了高校管理水平。陈金<sup>[7]</sup>使用 workflow 技术提高了电网调度系统的运行效率。

从以上文献可以得出结论, 企业实施 workflow 调度后, 通常会有 workflow 精细化, 运作效率提升, 管理成本下降等方面的改变。因此拟引入 workflow 管理技术, 提升 A 核电公司核电备件采购的工作效率。

## 一、采购任务分配的流程及存在问题

### (一) 购任务分配的流程

A 核电公司备件采购流程主要包括 8 个环节, 主要包括分发采购申请、采购合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署、审核质量计划、运输跟踪及验收, 每个环节有若干个处理步骤。其中, 采购部业务人员参与的环节主要有 6 个, 分别为采购合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署、审核质量计划等, 该 6 个环节为本文优化的主要对象。

### (二) 采购任务分配存在的问题

#### (1) 订单按时完成率低

A 核电公司对订单采购总时间及各环节耗时均有考核。2016 年至 2020 年采购部, 合计完成订单 3587 单, 按时完成率 82.74%; 从单环节来看, 合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署和审核质量计划等环节的订单按时完成率分别为 80.60%、80.88%、79.15%、76.83%、80.71% 和 80.32%。订单全过程的完成率及各环节的订单按时完成率仍有较大的改善空间。

作者简介: 李艺 (1992.12-), 女, 汉, 辽宁省大连市, 中广核核电运营有限公司, 采购工程师, 硕士研究生, 研究方向: 工程管理。

## (2) 部分订单在个别环节出现长时间停留

采购部2016年至2020年完成的3587个订单中,部分订单在个别环节出现较长时间的等待,合理性分析、询价、商业谈判、编写推荐、合同签署和审核质量计划等环节停留时间超过30天的订单分别有24单、22单、83单、24单、34单和18单。

## (3) 任务分配不均匀,员工满意度较差

2016年至2020年5年时间里,完成订单最多的业务员完成289单,而完成较少的仅完成217单,相差72单。任务分配的不均匀导致员工满意度较差。

## (4) 业务人员的优势未能很好发挥

由于目前的流程调度方式,一个业务员要负责一个订单的所有环节,业务员在自己不擅长的环节耗太多,个人优势不能充分的发挥。

# 二、采购 workflow 调度优化问题建模

## (一) 问题的描述

A 核电公司备件采购 workflow 调度优化问题描述如下:  $n$  个订单 ( $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ), 需要  $p$  个业务员处理, 每个订单包含一个或多个处理环节; 每个环节可以由不同的业务员处理, 订单环节的处理时间因不同的处理人员而异, 调度目标是选择最适合的业务人员去处理各个环节, 确定每个处理环节的最佳处理订单和开始处理时间, 使整个系统的处理时间最短、最高效。

## (二) 假设条件

本文的备件采购 workflow 优化问题有以下几个假设条件。

- (1) 同一个业务员在某一时刻只能处理某个订单的一个环节;
- (2) 同一个订单的同一个环节在同一时刻只能被一个业务员处理;
- (3) 每个订单的每个环节一旦开始处理, 处理的过程就不能中断;
- (4) 不同订单之间具有相同的优先等级;
- (5) 不同订单之间没有优先级的约束, 同一订单的处理环节之间存在先后约束;
- (6) 所有的订单在零时刻均可以被处理。

## (三) 目标函数

本文以最小化全部核电备件订单全部被完成时间作为模型评价指标:

$$Z = \min(C_{\max}) \quad (3-1)$$

其中,  $C_{\max}$  表示全部核电备件订单全部被完成时间, 下文公式 (4-7) 中  $C_{\max}$  参与各环节的完成时间的约束,  $Z$  表示全部订单处理的完成时间的最小值。

## (四) 决策变量

核电备件采购任务优化问题包含两个子问题: 业务人员选择子问题处理顺序子问题, 因此决策变量包含以下两个:

### (1) 选择处理环节的业务人员

$$x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{对于任意的 } j \text{ 和 } h, \text{ 如果处理环节选择业务员 } i \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (3-2)$$

### (2) 选择订单的处理环节次序

$$y_{ijkhl} = \begin{cases} 1, & \text{对于任意 } i, \text{ 如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (3-3)$$

## (五) 约束条件

(1) 处理各环节的业务员均来自总体可选处理业务员集合, 公式描述为:

$$\Omega_{jh} \subset \Omega, \exists j \in [1, n], \exists h \in [1, h_j] \quad (3-4)$$

其中,  $\Omega_{jh}$  表示可选处理业务员集;  $i$  表示业务员序号;  $j$  表示核电备件序号。

(2) 某个环节的开始时间加上该环节的处理时间, 小于或等于该环节的结束时间, 公式描述为:

$$S_{jh} + x_{ijh} \times p_{ijh} \leq c_{jh} \quad (3-5)$$

其中,  $S_{jh}$  表示开始处理时间;  $p_{ijh}$  表示处理时长;  $c_{jh}$  表示结束处理时间;

$$x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 选择业务员 } i。 \\ 0, & \text{否则。} \end{cases}$$

(3) 某环节的结束时间小于等于下一个环节的开始时间, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq S_{j(h+1)} \quad (3-6)$$

其中,  $C_{jh}$  表示结束处理时间,  $S_{j(h+1)}$  表示开始处理时间。

(4) 各环节的结束时间小于等于全部订单处理的完成时间, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq C_{\max} \quad (3-7)$$

其中,  $C_{jh}$  表示结束处理时间,  $C_{\max}$  表示所有订单均被处理完成的时间。

(5) 同一时刻同一业务员只能处理一个核电备件订单的一个环节, 公式描述为:

$$s_{jh} + p_{ijh} \leq s_{kl} + L(1 - y_{ijkhl}) \quad (3-8)$$

其中,  $S_{jh}$  表示开始处理时间;  $p_{ijh}$  表示处理时长;  $L$  表示一个足够大的正数;

$$y_{ijkhl} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(6) 同一时刻同一业务员只能处理一个核电备件订单的一个环节, 公式描述为:

$$c_{jh} \leq s_{j(h+1)} + L(1 - y_{ijkj(h+1)}) \quad (3-9)$$

其中,  $C_{jh}$  表示结束处理时间;  $S_{j(h+1)}$  表示开始处理时间;

$$y_{ijkj(h+1)} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 先于 } O_{ikl} \text{ 被处理完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(7) 一个订单的某个环节最终只能被一个业务员处理 (不会被重复处理), 公式描述为:

$$\sum_{i=1}^{m_h} x_{ijh} = 1 \quad (3-10)$$

$$\text{其中, } x_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{如果处理环节 } O_{ijh} \text{ 选择业务员 } i \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(8) 一个业务员可以循环处理一个核电备件订单的多个环节, 公式描述为:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^{h_j} x_{ijkhl} = x_{ikl} \quad (3-11)$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^{h_k} x_{ijkhl} = x_{ijh} \quad (3-12)$$

其中,  $i$  表示业务员序号;  $j$  表示核电备件序号;  $n$  表示需采购

核电备件总数； $h$ 表示环节序号； $h_j$ 表示第 $j$ 个备件的处理环节总数； $k$ 表示核电备件序号； $l$ 表示环节序号； $h_k$ 表示第 $k$ 个备件的处理环节总数。

(9) 各环节的开始时间和结束时间均要为正数：

$$s_{jh} \geq 0, c_{jh} \geq 0 \quad (3-13)$$

其中， $S_{jh}$ 表示开始处理时间； $C_{jh}$ 表示结束处理时间。

### 三、基于改进遗传算法的采购 workflow 调度算法设计

#### (一) 染色体编码

本文将编码问题采用分段编码：

##### (1) 业务员选择问题编码

业务员选择问题部分的染色体长度为  $T_0$ 。每个基因位由一个整数表示，该整数代表业务员编号。

##### (2) 处理环节排序问题编码

本文创新性的设计了“单基因分段编码法”。“单基因分段编码法”是一种整数编码法，由2位数以上的整数组成，数字的个位数代表该处理环节属于订单的第几个环节，而十位数以上的数字代表该处理环节隶属于第几个订单。

#### (二) 初始化种群

##### (1) 业务员选择问题编码的初始化

业务员选择问题编码的初始化，主要是采用随机的方法生成。

##### (2) 处理环节排序问题编码的初始化

处理环节排序问题编码要特别注意编码后，解是否为可行解的问题，因此本文采用“随机数打乱法”生成，即通过一个随机数序列打乱原来有序的可行解，从而实现解一定为可行解，且种群是满足多样性的要求。

#### (三) 计算适应度

本文以最小化全部核电备件订单全部被完成时间作为模型评价指标，因此实用度计算函数为：

$$f = C_{\max} \quad (4-1)$$

其中， $C_{\max}$ 表示全部核电备件订单全部被完成时间。

#### (四) 选择操作

本文采用锦标赛选择方法<sup>[8]</sup>。

#### (五) 交叉操作

业务人员选择部分编码采用改进的多点交叉方式；处理环节排序部分编码，采用参考映射交叉方式<sup>[9]</sup>。

#### (六) 算法终止条件

本文设置了两个算法终止条件：

(1) 算法连续若干代没有产生适应度更优的解；

(2) 算法达到最大迭代次数<sup>[10]</sup>。

#### (七) 染色体解码

染色体解码是编码的逆过程<sup>[7]</sup>，染色体解码完毕，生成有确定顺序的调度方式。

### 四、算例分析

#### (一) 算例描述

通过对 A 核电公司采购部 2016 年至 2020 年 14 名业务员做统

计，将各业务员各环节作业平均耗时作为各业务员在模拟调度中的耗时；选取采购部 2020 年 1 月的新接到订单数据（75 个订单）进行算法模拟调度。算法执行后，将 75 个订单的 6 个环节，分配给 14 位业务人员，形成了一套可执行的任务分配方案。

#### (二) 优化前后对比分析

通过优化前后对比，得出以下结论：

##### (1) 优化后订单按时完成率明显提升

优化前订单完成 75 个订单中 11 个订单超时，订单按时完成率 85%。优化后订单按时完成率 100%。

(2) 优化后作业分配均衡性显著提升，有助于提升员工满意度

优化前各业务员平均工作时间 21.11 天，标准差 8.23 天，变异系数 38.96%；优化后各业务员平均作业时间 20.48 天，标准差 1.38 天，变异系数 6.73%；从变异系数来看，作业分配的均衡性提升明显，变异系数减少 32.22 个百分点。

(3) 优化后各业务员操作总时间有所缩短，业务人员的优势得到一定程度的发挥

优化前各业务员平均工作时间 21.03 天，各业务员操作时间总和 294.48 天，优化后各业务员平均作业时间 20.48 天，各业务员操作时间总和 286.69 天，优化各业务员操作时间总和较优化前少 7.79 天。

(4) 完成所有订单任务的总时间有效缩短，部分订单长时间得不到处理的情况一定程度上减少

优化前订单完成总时间 30.91 天，优化后为 21.63 天，减少时间 9.27 天，降幅 30.01%，优化后订单完成总时间短，主要原因是任务分配方式改为 workflow 调度方式，每个业务员均可以处理各个订单的各个环节，业务员之间形成了良好的协助关系，部分订单长时间得不到处理的情况一定程度上减少。

### 五、结语

本文针对 A 核电公司备件采购存在不能及时采购满足安装需求的问题，引入 workflow 管理技术，优化调度核电备件采购 workflow，基于 workflow 优化的调度方式较原来是人工调度方式有明显优势。

### 参考文献

- [1] 张晓鹏, 王新. OA 系统工作流精细化管理的实践与应用 [J]. 中国管理信息化, 2022, 25(17): 123-125.
- [2] 蒋纯辉. 基于动态工作流技术的智能办公自动化系统研究 [J]. 无线互联科技, 2022, 19(13): 66-68.
- [3] 张书林, 杨建, 舒龙勇. 煤矿瓦斯治理动态工作流构建方法研究 [J]. 工矿自动化, 2022, 48(10): 97-106.
- [4] 辛华强. 工作流在企业人员管理中的应用 [J]. 中国商论, 2022, No. 859(12): 137-139.
- [5] 曹伟. 工作流技术在社保经办系统中的应用 [J]. 劳动保障世界, 2018, No. 493(09): 23-24.
- [6] 洪环环. 基于工作流的高校工会管理信息系统的设计与实现初探 [J]. 普洱学院学报, 2018, 34(03): 15-17.
- [7] 陈金, 王向东, 蒋七兵等. 工作流技术在电网调度管理信息系统中的应用研究 [J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(03): 94-98.
- [8] 熊聪聪, 陈长博, 赵青等. 基于遗传算法的批处理科学工作流任务调度算法的改进 [J]. 天津科技大学学报, 2020, 35(02): 74-80.
- [9] 桂林, 李新宇, 高亮. 作业车间调度问题的新型邻域结构 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2021, 49(07): 103-106+119.
- [10] 陶思南, 傅鹏, 蔡斌. 一种求解车间作业调度的自适应混合遗传算法 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19(04): 53-57.

# 电梯运行能耗监测与节能管理系统的开发

戴香东

天津市特种设备监督检验技术研究院, 天津特检智慧科技有限公司, 天津 300251

**摘 要 :** 本文主要探讨了电梯运行能耗监测与节能管理系统在智慧楼宇建筑中的应用。随着高层建筑的兴起和电梯使用量的增加, 电梯能耗问题日益突出。文章分析了当前电梯能耗监测技术应用的现状和挑战, 并提出了系统设计、关键技术实现和应用价值等方面的解决方案。

**关 键 词 :** 电梯能耗; 能耗监测; 节能管理; 系统设计; 关键技术; 智慧楼宇

## Development of Energy Consumption Monitoring and Energy Saving Management System for Elevator Operation

Dai Xiangdong

Tianjin Special Equipment Supervision and Inspection Technology Research Institute, Tianjin special inspection intelligent Technology Co., LTD, Tianjin 300251

**Abstract :** This paper mainly discusses the application of elevator operation energy consumption monitoring and energy saving management system in intelligent buildings. With the rise of high-rise buildings and the increase of elevator usage, the problem of elevator energy consumption is becoming increasingly prominent. This paper analyzes the current status and challenges of elevator energy consumption monitoring technology, and puts forward the solutions of system design, key technology realization and application value.

**Keywords :** elevator energy consumption; energy consumption monitoring; energy conservation management; system design; key technology; smart building

### 引言

在经济发展的迅猛势头和城市化的快速步伐推动下, 高层建筑如雨后春笋般崛起, 电梯作为固定场所交通运输的重要工具, 已经成为现代建筑中不可或缺的一部分。然而, 电梯在为人们提供便捷的同时, 其运行能耗也日益成为智慧楼宇建筑能耗的重要组成部分。在我国, 人口基数大, 人口分布较为集中, 电梯能耗问题日益凸显, 如何有效监测电梯运行能耗并实施节能管理, 已成为智慧楼宇建筑节能领域亟待解决的问题。

### 一、我国电梯能耗监测技术的应用现状与挑战

从近十年的数据看, 中国电梯市场突飞猛进, 占据了全球市场的60% ~ 65%, “中国制造”的电梯已占全球产量的70%, 成为世界电梯第一大国。截至2019年底, 全国电梯保有量达到709.75万台<sup>[1]</sup>。随着城市化进程日益加快, 电梯使用量不断增加, 电梯能耗在智慧楼宇建筑总能耗中占比较大<sup>[2]</sup>。电梯能耗监测技术, 作为应对我国城市化加速进程中电梯能耗问题的有效手段, 正日益受到关注。该系统通过实时监测电梯运行数据, 分析能耗情况, 实现能耗优化。当前, 该系统虽然在国内得到了广泛应用, 但仍存在一定问题: 一方面, 监测设备精度有待提高, 数据传输稳定性不足; 另一方面, 节能管理策略有待完善, 部分系统节能效果不明显。为提高电梯运行能耗监测与节能管理系统的性能, 应加大技术研发力度, 优化系统设计, 提高数据分析处理

能力, 助力我国建筑节能事业的发展。同时, 政府和企业也应加大对电梯节能技术的推广力度, 提高电梯运行能耗监测与节能管理系统的覆盖率。

### 二、电梯运行能耗监测与节能管理系统设计

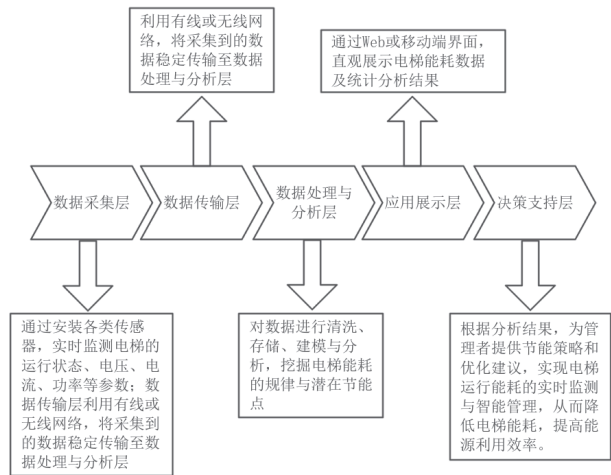
电梯作为高层建筑的重要组成部分, 其能耗问题一直备受关注。据统计, 电梯的能耗大约占到了建筑整体能耗的10%至20%, 并且电梯使用时间的增加, 使得这一能耗问题更加突出。近年来, 随着智慧楼宇概念的深入发展, 电梯的能耗问题得到了更为有效地关注和解决, 该领域通过集成物联网、大数据、云计算以及人工智能技术, 实现了对电梯运行的精确实时监测。系统不仅能够收集电梯的运行数据, 如启动次数、运行时间、载重情况等, 还能通过深入的数据分析, 揭示能耗的具体去向和使用效



率。做好楼宇建筑节能管理对于实现能源消耗和碳排放双控具有重要意义<sup>[3]</sup>。

### （一）系统总体架构设计

电梯运行能耗监测与节能管理系统的总体架构采用分层设计，主要包括数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层、应用展示层和决策支持层。具体功能如图-1所示：



> 图-1 系统总体架构图

### （二）节能模块设计

#### 1. 关键技术研究

##### （1）能量回馈技术

能量回馈技术，作为电梯节能模块设计的核心，其重要性不言而喻。在电梯的运行周期中，尤其是在制动和减速阶段，电机产生的再生能量若得不到有效利用，将是一大资源浪费。传统做法中，这些能量往往通过电阻器转化为热能并消散，这不仅造成了能源的流失，还可能引起机房温度的升高。因此，深入研究和应用能量回馈技术，对于提高电梯的整体能效，具有至关重要的意义。

该技术的核心原理是利用电力电子逆变技术，将电机在制动和减速过程中产生的再生能量，转换成可再利用的交流电能，并将其回馈至电网，实现能量的循环利用。这一过程不仅减少了能源的消耗，还提升了能源的使用效率。为了确保回馈电能的质量达到电网标准，同时减少对电网的潜在冲击，研究团队需致力于设计高效的回馈电路。这些电路经过精心设计，能够有效地处理电机回馈的能量，确保其平滑地融入电网。

##### （2）变频调速技术

变频调速技术在电梯行业的应用，标志着电梯速度调节技术的一大飞跃，同时也为节能降耗提供了新的解决方案。在变频器的选择上，基于电梯的运行特性，挑选并优化设计适合的变频器型号<sup>[4]</sup>。这一过程不仅确保了电梯速度调节的平滑性，也有效降低了能源消耗，提升了电梯的整体运行效率。针对调速策略的研究，分析电梯在不同工况下的运行需求，并开发出高效的调速策略。这些策略的应用，使得电机在多种运行模式下均能保持高效运转，进一步优化了电梯的能耗表现。同时，变频器与电机的匹配技术也得到了深入研究。通过优化这项技术，电梯在调速过程中的动态性能得到提升，同时保持了低能耗的水平，从而提高了

电梯系统的运行稳定性和能源利用效率。

### （3）电梯群控优化技术

在当今智慧城市的快速发展背景下，智慧楼宇作为其中的重要组成部分，正通过技术创新不断提升建筑智能化水平。其中，电梯群控优化技术作为智慧楼宇的核心应用之一，不仅关乎乘客的出行体验，更体现了楼宇智能化管理的深度与广度<sup>[5]</sup>。

在这个智能系统领域，通过对不同时段和楼层的乘客流量数据进行深入统计分析，揭示了乘客使用电梯的规律性。以办公大楼为例，分析显示，早晨和下午的上下班高峰期，电梯使用频率急剧上升，这一发现为电梯群控系统的优化提供了关键依据。结合遗传算法和粒子群优化算法等先进的人工智能技术，电梯群控系统能够敏锐地洞察乘客需求，并精确掌握电梯的实时状态，从而实现运行路径和停靠决策的灵活调整<sup>[6]</sup>。这种智能优化大幅降低了乘客的等待时间，显著提升了运输效率。高峰时段，遗传算法的应用更是将乘客的平均等待时间减少了超过20%。同时，电梯群控系统采用了实时调度与预测调度的混合方法，增强了调度灵活性。系统能够在实时监控电梯运行的同时，预测即将到来的乘客需求，并据此预先调整电梯调度策略。例如，预见某楼层即将涌现的客流，系统会提前派遣空闲电梯前往待命，有效缩短了乘客等待时间，提高了电梯运行效率，并助力实现节能目标。

### （4）数据监测与处理技术

在智慧楼宇建筑日益普及的今天，人工智能技术的融入为电梯节能模块的设计带来了前所未有的创新机遇<sup>[7]</sup>。数据监测与处理技术作为智慧楼宇建筑中电梯节能模块的关键环节，它通过高精度、低功耗的传感器实时采集电梯的运行数据，如速度、载重量、运行时间和启停次数等，为电梯的高效运行和能耗降低提供了坚实的基础。在此基础上，人工智能算法对这些数据进行实时分析与处理，从而实现了能耗预测、故障诊断、优化调度、能耗评估和数据可视化等多个功能。通过对历史数据分析，可以预测电梯未来的能耗情况并及时发现潜在故障并发出预警，从而避免因故障导致的能耗增加。此外，人工智能算法能够对电梯运行过程中的能耗数据进行统计分析，评估电梯的节能效果并为后续的优化工作指明方向，与此同时通过图表、曲线等形式将处理后的数据可视化，运维人员可以更直观地了解电梯运行状态，及时调整节能策略，确保电梯系统在节能模式下高效运行。

#### 2. 跨领域数据融合

##### （1）将电梯运行数据与楼内人员流量数据、气象数据等融合

在智慧楼宇建筑管理中，融合电梯运行数据、楼内人员流量数据及气象数据等多源信息，能显著提升电梯使用需求的预测准确性，进而优化电梯运行策略并降低能耗。具体而言，通过分析气象数据，可预测室外温度变化，并据此提前调整电梯运行模式<sup>[8]</sup>。例如，在夏季高温期间，可提前启动电梯降温系统，减少空调过度使用，实现能源节约。同时，结合楼内人员流量数据，能够精确预测电梯使用高峰时段，如上下班高峰和午餐时间，提前做好电梯运行准备，有效减轻高峰期的人流压力，防止拥堵。数据融合的应用，不仅提升了电梯运行效率，也改善了乘客的乘梯体验，推动了建筑管理的智能化与人性化发展。

## （2）利用大数据分析技术，建立电梯能耗预测模型

利用先进的大数据分析技术，可以建立一套电梯能耗预测模型。该模型通过分析电梯的历史运行数据和实时采集的数据，能够准确预测电梯的能耗趋势<sup>[9]</sup>。模型的建立为制定有效的节能策略提供了坚实的数据支持。例如，通过能耗预测模型，可以提前获知电梯在特定时间段内的能耗情况，并据此调整电梯的运行模式。在能耗高峰期，可以优化电梯的调度策略，减少不必要的运行次数，或者调整电梯的运行速度，以降低能耗。此外，预测模型还能帮助识别电梯能耗异常的情况，及时进行维护和调整，确保电梯运行在最佳状态。这种基于数据的节能管理方法，不仅有助于减少能源消耗，还能延长电梯的使用寿命，为建筑物的绿色运营贡献力量。

## 三、电梯运行能耗监测与节能管理系统实现

随着我国节能减排政策的深入推进，电梯能耗“瘦身”将成为智慧楼宇建筑发展的必然趋势。电梯能耗的降低不仅是响应国家政策号召的具体行动，更是推动建筑行业转型升级、实现可持续发展的关键举措。如何在保障电梯安全、高效运行的同时，实现能耗的实时监测与有效管理，成为智慧楼宇建设中的关键课题。

### （一）系统功能实现

智慧楼宇的电梯运行能耗监测与节能管理系统通过一系列精心设计的功能，确保了电梯运行的高效与节能。系统实时监控电梯的运行状态和能耗数据，为管理者提供了即时的信息反馈。同时，历史数据查询功能使得用户能够回顾和分析过去的能耗情况，为决策提供数据支持。在此基础上，系统进一步生成日、

周、月、年的能耗统计报告，并通过环比、同比分析，揭示了能耗变化的深层次规律<sup>[10]</sup>。此外，故障诊断功能通过捕捉监测数据的异常，能够预见电梯潜在的故障问题，提前采取措施以避免事故发生。最终，系统根据能耗分析结果，提出具体的节能措施和改进建议，助力楼宇实现节能减排的目标。

### （二）系统集成与测试

在智慧楼宇电梯运行能耗监测与节能管理系统的实施过程中，系统集成与测试是确保系统高效运作的关键步骤。通过将各个子系统紧密集成成为一个完整的系统，保障了各部分之间的协同工作，实现了功能的最大化。随后，为了验证系统的稳定性和可靠性，进行了全面系统测试，包括功能测试、性能测试以及安全测试，确保了系统在复杂楼宇环境中的稳健运行。

### （三）系统运行与维护

电梯运行能耗监测与节能管理系统在完成部署后，通过实时监控机制确保系统稳定运行，防止潜在故障。此外，系统定期进行维护与功能升级，以适应不断变化的节能标准和楼宇管理需求，保障系统的长期有效性和节能性能。

## 四、结束语

电梯运行能耗监测与节能管理系统是推动建筑节能的重要工具。本文深入探讨了该系统的设计理念、关键技术实现和应用价值，为电梯节能领域提供了新的思路和解决方案。未来，随着物联网、人工智能等技术的不断发展，电梯运行能耗监测与节能管理系统将更加智能化、高效化，这将为智慧楼宇建筑节能做出更大的贡献，助力实现绿色建筑和可持续发展的目标。

## 参考文献

- [1]林捷晖. 电梯节能技术探讨[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(25): 159-162.DOI:10.19981/j.cn23-1581/G3.2023.25.039.
- [2]梁光胜, 李朝洋, 田琳. 电梯运行与能耗监测综合系统设计[J]. 节能, 2022, 41(03): 1-3.
- [3]赵伟, 周密, 李雨轩, 等. 智慧楼宇节能低碳管理设计与实施[J]. 中国机关后勤, 2023, (12): 54-57.
- [4]未庆超, 李振玲, 王晓侃, 等. 电梯节能模块和曳引机控制模块的设计[J]. 集成电路应用, 2023, 40(02): 58-60.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.02.021.
- [5]魏彤, 杨耀旺, 王泽京. 电梯节能技术研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(06): 172-175.DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2022.6.042.
- [6]牟耀荣, 石荣亮, 黄冀, 等. 超级电容储能装置在电梯节能中的应用与分析[J]. 中国电梯, 2023, 34(03): 13-16.
- [7]殷丹璇. 基于超级电容的电梯节能控制研究[D]. 安徽理工大学, 2022.DOI:10.26918/d.cnki.ghngc.2022.000679.
- [8]王杨, 夏丽丽, 杨扬. 基于物联网电梯远程监测系统平台的研究[J]. 特种设备安全技术, 2023, (01): 41-43+47.
- [9]翁洪屹. 智能电梯系统设计[J]. 中国高新科技, 2019, (13): 66-68.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2019.13.12.
- [10]杜艺聪. 群组电梯调度策略优化与系统设计[D]. 华南理工大学, 2022.DOI:10.27151/d.cnki.ghnlu.2022.002969.

# 经验反馈在工作过程的全流程应用实践

陈威, 周鹏飞, 王媛媛  
阳江核电有限公司, 广东 阳江 529500

**摘 要：** 随着核电行业的不断发展，行业内越来越关注经验反馈的有效性。尤其在核电厂工程建设初期，电厂员工技能经验尚不足够，经验反馈的管理和应用尤为重要。然而，核电厂传统的经验反馈管理流程与工作过程的联系不紧密，现场作业过程中无法有效利用经验反馈信息，导致经验反馈的有效性成为制约电厂安全管理的一项短板。为此，本文基于电厂运作实践，构建开发一种工作过程平台（以下简称“SAP”）经验反馈模块，将事件信息的利用纳入工作过程的必需环节，使经验反馈流程与现场工作流程有效融合，提升经验反馈应用效果。

**关 键 词：** 经验反馈；工作过程；全流程

## Analysis of the Application Mode of Experience Feedback in the Whole Process of Work

Chen Wei, Zhou Pengfei, Wang Yuanyuan  
Yangjiang Nuclear Power Co., Ltd. Yangjiang, Guangdong 529500

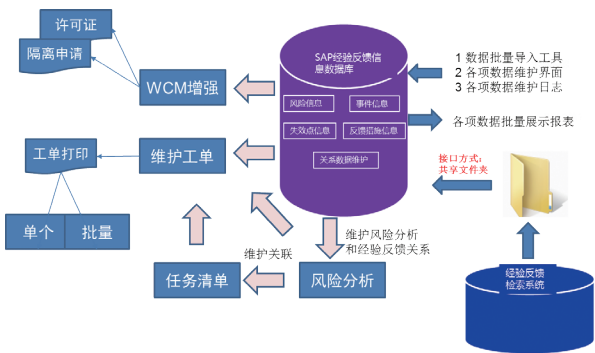
**Abstract：** With the continuous development of the nuclear power industry, the effectiveness of experience feedback has drawn increasing attention within the industry. Especially in the early stage of nuclear power plant construction, when the skills and experience of plant employees are still insufficient, the management and application of experience feedback are particularly important. However, the traditional experience feedback management process in nuclear power plants is not closely linked to the work process, and the experience feedback information cannot be effectively utilized during on-site operations, resulting in the effectiveness of experience feedback becoming a shortcoming restricting the safety management of power plants. Therefore, based on the operation practice of the power plant, this paper builds and develops an experience feedback module in the work process platform (SAP), incorporates the utilization of event information into the necessary link of the work process, effectively integrates the experience feedback process with the on-site work process, and enhances the application effect of experience feedback.

**Keywords：** experience feedback; work process; whole process

经过多年建设，核电行业经验反馈管理已形成体系化、标准化运作，即电厂所有缺陷在经验反馈体系内，依托经验反馈组织，按不同事件和异常的管理级别、方式加以确认、报告及反馈，形成异常探测—异常界定—报告/回复单编制—报告/回复单审查—纠正行动落实的闭环管理流程。然而，经验反馈流程化管理的同时，我们往往容易忽略内外部运行经验的日常应用，而这恰恰是经验反馈有效性提升、经验反馈价值实现的重要一环。

### 一、开发思路

为实现经验反馈在 SAP 工作过程中的应用，电厂在 SAP 系统工作过程模块的工单页面、WCD 页面开发“经验反馈”标签页。并对集团内、外部经验反馈事件信息进行筛选整理，完善风险及反馈措施等字段后导入 SAP 数据库，形成“SAP 标准经验反馈事件信息库”。使现场人员在工单准备过程中能够调用标准经验反馈事件信息并打印到工作包，在隔离准备与实施过程中能够调用标准经验反馈事件信息并分别打印到许可证和隔离操作单。如图 3-1 所示。



> 图 3-1 SAP 经验反馈模块设计思路

作者简介：陈威（1988.12—），男，汉，江西省吉安市，本科，工程师，研究方向：核电厂安全管理

## 二、组织搭建

为便于工作开展，成立经验反馈事件信息现场应用项目组，总体负责经验反馈在工作过程应用项目的开发工作，下设经验反馈事件信息库工作组、经验反馈事件信息应用平台开发工作组及经验反馈事件信息工作过程应用工作组，负责具体工作的实施和推动。项目组及工作组采用会议运作方式<sup>[1]</sup>。

### （1）项目组职责

➤组长：全面负责经验反馈事件信息现场应用开发项目组的组织与运作；协调项目组运作所需资源；主持项目组工作期间重大事项的审查和决策。

➤副组长：统筹信息库工作组及应用平台开发工作组的工作进度；主持信息库工作组及应用平台开发工作组组间的事项决策。

➤组员：负责经验反馈事件信息现场应用开发项目工作的具体执行。

### （2）工作组职责

➤信息库工作组：收集事件报告，设计信息库结构及编码要素、标准，并根据标准对事件报告进行编码，形成标准数据并录入信息库。

➤应用平台开发工作组：在 SAP 系统工单页面、WCD 页面开发“经验反馈”标签页。采购、开发、布置经验反馈事件信息查询终端设备。

➤工作过程应用工作组：根据工作过程使用经验反馈事件信息应用及用户需求制定配套的经验反馈事件信息应用方案，为经验反馈事件信息应用提供制度保障。

## 三、开发过程

### （一）SAP 标准经验反馈事件信息库

为建立“SAP 标准经验反馈事件信息库”，收集了集团内、外部经验反馈事件信息，按照风险代码、失效点、反馈措施等 13 个要素进行编码并录入数据库。此外，项目成立了信息库日常维护组，持续编码、录入新收集的事件数据。

### （二）经验反馈信息查询终端

为便于现场所有人员快捷、便利查询经验反馈事件信息，电厂开发了经验反馈信息查询终端，终端查询设备采用双屏触摸查询一体机，搭载经验反馈事件信息库，供现场所有工作人员（包括现场合作伙伴人员）快速查询、了解经验反馈事件信息<sup>[2]</sup>。

为丰富终端机功能，开发人员还在查询屏上加入了人员黄页（侧面配备电话）、厂房信息、探伤信息、值班信息查询模块，以及视频宣传界面。根据勘察，现场计划在人流量较大的区域布置终端设备。范围覆盖电厂主要厂房。

### （三）SAP 经验反馈模块

电厂在 SAP 系统工作过程模块的工单页面、WCD 页面开发“经验反馈”标签页，现场人员在工单准备过程中能够调用标准经验反馈事件信息并打印到工作包，在隔离准备与实施过程中能够

调用标准经验反馈事件信息。

#### 1. 工单准备环节

在 SAP 工单“增强”页开发“经验反馈”模块，目的是为了在进行工单准备时能够调用“SAP 标准经验反馈事件信息库”中的经验反馈信息，并且在工单打印页能够打印经验反馈和反馈措施内容<sup>[3]</sup>。

准备工单时，通过页面上方的查询界面，准备工程师可根据工单内容，通过查询要素检索相关的经验反馈事件，并根据需要勾选调用的经验反馈和反馈措施。

#### 2. 隔离准备环节

在 SAP 的 WCD/WCA 页开发“经验反馈”模块。目的是为了在进行隔离准备时能够调用“SAP 标准经验反馈事件信息库”中的经验反馈信息，并且能够打印经验反馈和反馈措施内容至隔离操作单中<sup>[4-5]</sup>。

进入“SAP 标准经验反馈事件信息查询”页面，隔离经理通过查询要素检索相关的经验反馈事件，并根据适用性勾选需调用的经验反馈和反馈措施。

#### 3. 现场实施环节

通过工单准备环节及隔离准备环节，一项作业的相关经验反馈事件信息、失效点及反馈措施通过调取的方式，分别进入到该作业的工作实施和隔离实施的工作文件中。当工作班组在现场实际开展隔离及作业前（如工前会），可以通过阅读工作文件中被调用的经验信息及反馈要点，进一步了解该项工作的相关风险，并提前讨论应对策略，落实反馈措施。

根据需要，工作班组还可以通过工作点附近的经验反馈信息查询终端，便捷的查询、阅读事件报告等详细信息<sup>[6]</sup>。

### （四）经验反馈工作过程应用管理方案

SAP 作为电厂工作过程管理软件，各环节均有操作管理要求。经验反馈事件信息现场应用项目组对 SAP 系统进行增强功能开发，涉及工单准备、计划编制、运行隔离准备和实施、工作负责人现场执行各环节应用流程的改变。为此，电厂配套制定了经验反馈信息工作过程应用管理方案，规定了应用过程中相关人员的职责分工及具体要求<sup>[7]</sup>。

## 四、应用效果

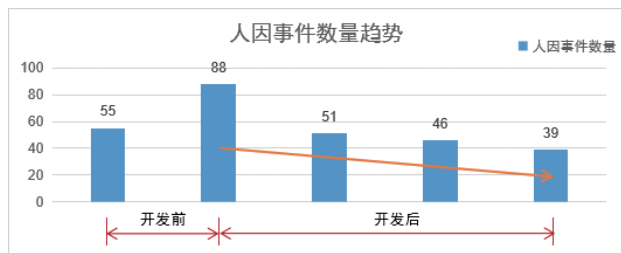
经验反馈在工作过程应用项目使电厂员工在工作准备和工作实施过程中便捷、全面获取相关历史事件信息，包括风险点和应对措施，有力提高电厂经验反馈的有效性和现场工作的可靠性，项目实施后，也取得了预期效果。

### （一）人因事件趋势

经验反馈应用项目上线后，电厂人因事件数量及占比的增长趋势出现了缓解，并逐渐转变为总体下降趋势。如图 4-1 所示。

经验反馈在工作过程的全流程应用，从管理制度和行为意识上提升了电厂全员对经验反馈的关注和重视，也从“技防”层面一定程度上遏制了重复人因事件的发生。

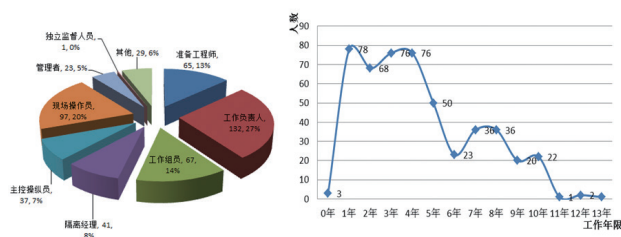




> 图4-1 人因事件数量趋势

## (二) 效果问卷调查

项目上线应用一年左右，项目开发组对一线员工开展了专项问卷调查，调研 SAP 经验反馈工作过程应用项目上线后的应用效果评价。调查对象覆盖电厂各相关专业，如图4-2所示。



> 图4-2 应用效果问卷调查对象

根据492份问卷调查结果，绝大部分员工认为项目上线后，经验反馈信息获取的便捷性和针对性均有明显提升，73%调查对象至少每周使用经验反馈查询系统2~3次，92%调查对象在现场工作前会主动通过工作票中调用的经验反馈信息或者现场查询终端主动了解经验反馈事件，80%调查对象会针对反馈措施进一步讨论在工作实施中的落实方式。此外，约30%的调查对象认为，利用工作包中的经验反馈应用避免了可能的不良后果<sup>[8][9]</sup>。

## 五、结语

随着科技的不断进步，信息化、智能化将成为生产发展的新趋势，也将为经验反馈管理，尤其是经验反馈数据管理、应用提供更多的解决方案。通过智能化手段，结合现场的工作安排、作业特点和失效风险，提供尽量多且有针对性的经验反馈信息，一方面最大限度为现场工作提供支持，另一方面也大大解放了经验反馈专职人员的生产力，使之有更多精力思考管理改进，形成良性循环。未来，作为经验反馈从业人员，我们需不断突破常规、勇于创新，借助科技的力量，提高电厂经验反馈的有效性和现场工作的可靠性，提升电厂安全生产业绩<sup>[10]</sup>。

## 参考文献

- [1] 孙国臣, 朱立新, 王小海. 对美国核管会运行经验反馈的研究 [J]. 核安全, 2011, (01): 65-69+73.
- [2] IAEA 网站. 经验反馈加强研究堆的安全 [J]. 辐射防护通讯, 2024, 44(2): 39-40.
- [3] 彭松松, 蔡汉坤. 核电厂群经验反馈系统的研究与应用 [J]. 数字技术与应用, 2020, 38(10): 169-172.
- [4] 崔亚男. 核电建设全过程经验反馈机制的构建和运行探究 [J]. 中国高新技术企业, 2015, (09): 34-35.
- [5] 刘峰. 中核工程经验反馈体系研究 [D]. 清华大学, 2019. DOI: 10.27266/d.cnki.gqhau.2019.000453.
- [6] 陈凌飞. 经验反馈与安全文化, 相辅相成并共同提高 [J]. 中国核电, 2017, 10(03): 415-420.
- [7] 肖志, 陶书生, 韦力, 等. 关于加强国内核安全经验反馈工作的思考 [J]. 核安全, 2017, 16(04): 1-5.
- [8] 秦苏亚. 核电厂质量保证监督要素的量化评价工作探析 [J]. 机械工业标准化与质量, 2024, (03): 17-20.
- [9] 洪丽丽, 刘彬, 周树东, 等. 核电厂应急响应人员培训的实践 [J]. 辐射防护通讯, 2023, 43(02): 25-31.
- [10] 蔡振, 王诗文, 刘威. 电厂经验反馈外部事件对比分析方法的研究 [J]. 大科技, 2019: 58-59.

# 基于水电站电气设备长周期运行策略研究

高志勇

雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051

**摘 要 :** 对于水电站电气设备来说, 其日常管理和设备维护, 是影响设备长周期运行的重要影响因素, 随着现代化社会经济水平的快速提升, 不同行业和领域对于水电站提出了更高的要求, 虽然电气设备的系统化、自动化、人工智能化等相关方面不断发展和完善, 但是设备在长周期运行时, 同样会出现各种类型的安全问题和故障, 严重影响水电站的运行效果, 因此相关部门要结合水电站电气设备长周期运行现状, 选择适合的应对方法, 制定设备长周期运行策略。

**关 键 词 :** 水电站; 电气设备; 运行特点; 经济成本

## Research on Long term Operation Strategy of Electrical Equipment in Hydropower Stations

Gao Zhiyong

Yalong River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610051

**Abstract :** For the electrical equipment of hydropower stations, its daily management and maintenance are important factors affecting the long-term operation of the equipment. With the rapid improvement of modern social and economic level, different industries and fields have put forward higher requirements for hydropower stations. Although the systematization, automation, artificial intelligence and other related aspects of electrical equipment continue to develop and improve, various types of safety problems and failures may also occur during long-term operation of the equipment, seriously affecting the operation effect of hydropower stations. Therefore, relevant departments should combine the current situation of long-term operation of electrical equipment in hydropower stations, choose suitable response methods, and formulate long-term operation strategies for equipment.

**Keywords :** hydropower station; electrical equipment; operating characteristics; economic cost

对于水电站来说, 电气设备的稳定高效运转, 是保证水电站安全运行的前提条件, 随着时代的改变, 水电站电气设备也随之完善和更新, 所以想要保证水电站电气设备长周期运行目标得以实现, 相关部门要全面掌握电气设备自身运行特点和运行要求, 开展针对性的维护工作。

### 一、水电站电气设备运行特点

水电站电气设备主要有发电机及辅助设备、电压配电设备、变压设备、高压配电设备以及保护设备等共同构成, 在水电站电气设备正常运转情况下, 通过电气主接线向外输送电能; 水电站电气设备出现故障问题后, 可以快速定位故障位置并切断故障区域, 确保线路能够以最快速度恢复正常运行状态。通常情况下, 水电站的电气装置为装配式, 需要在生产厂家制造设备时, 预先将控制开关感应器、连接线路等设备进行组装后, 运输至水电站进行设备安装, 或者直接将电气设备安装完成后, 放置在半封闭的金属外壳中, 确保设备之间的间距, 此种安装方式其内部结构相对紧凑, 安装工作量较小, 并且在安装和后续应用期间, 能够有效缩短设备运转周期, 日常维护十分便利, 所以被广泛的应用在水电站运行环节中<sup>[1]</sup>。

#### (一) 一体化

传统水电站的电气设备, 无论是数量还是施工规模都十分庞大, 并且设备的功能相对比较单一, 线路安装方向和安装模式也相对比较局限, 随着水电站的发展和进步, 电气设备同样向一体化方向发展, 现阶段水电站中许多电气设备自身功能逐渐复杂, 能够将许多功能融为一体, 比如: 高低压、配电以及防雷等基础功能, 而此中电气设备一体化的发展趋势和方向, 极大的增强了设备运行效果。降低在日常维护和运行过程中的经济成本支出。

#### (二) 智能化

大多数传统设备自身所具备的科技水平不高, 设备在实际运行和操作时普遍需要人工完成, 近几年随着互联网平台和科学技术的不断提高信息技术以及智能化技术手段逐渐应用于水电站电气设备中, 致使电气设备的科学技术含量大幅度提升, 电气设备更新周期也随之减短, 长此以往, 致使电气设备逐渐出现智能

化、系统化、自动化等优势 and 特点，水电站的智能化水平也随之提高<sup>[2]</sup>。

（三）长周期化

一方面，随着现代化科学技术的不断创新和发展，电气设备的功能以及性能逐渐趋于稳定，能够实现长时间高压高负荷状态的运行，另一方面，水电站的电气设备在维护方法以及管理手段上得到了极大的进步，不仅能够有效降低电气设备的基础运行损耗，还有效控制影响电气设备长时间运行的负面条件和不良影响因素，最大程度延长水电站电气设备的使用寿命。

二、水电站电气设备运行问题

目前水电站的电气设备主要包含：一次性电气设备及其常见的变电设备以及发电电气设备等；电气二次设备及其常见的电缆控制设备，鉴于水电站电气设备自身所具有的特殊性和复杂性，实际对电气设备进行方案规划时，要严格按照标准要求建立节约意识科学，合理利用土地资源，将土地资源的挖掘面积最大程度减少。除此之外，电气设备还要综合分析和考虑连接线路的安全性，在此基础上设置高压控制开关以及主要变压设备，控制设备之间的连接距离。针对不同型号性能的电气设备进行线路连接时，要尽可能避免出现交叉或者连接混乱等问题，减少线路的损耗量，减少设备维护连接应用的经济成本支出。

（一）变压器故障问题

在水电站日常运营过程中，变压器是电气设备重要的构成部分，该设备对于电气设备长周期的稳定运转起到了重要作用，是核心构件之一，一旦变压器出现故障问题，则代表水电站电气设备无法正常运转，所以建设团队以及维护团队在安装使用维护设备期间，要了解变压器可能出现的故障问题，并在此基础上制定针对性、目的性的应对策略，从根本上保证变压器的安全稳定高效运转。现阶段变压器常见的故障问题相对比较复杂，对此，施工团队要结合其故障问题的核心原因进行综合分析<sup>[3]</sup>。

第一，当变压器长周期运行时，会承担大量的设备运行压力和负荷，长此以往，变压器会出现异常的嗡嗡声；当变压器内部结构件被电机击穿或者线路连接不良时，同样会出现异常声响；当变压器内部结构出现单向操作，同样会出现尖锐的异响，其声音具有显著特点；变压器内部结构件无法稳定时，也会出现异常响动并且其响动十分剧烈，声音传播不均匀。

第二，变压器在实际运行时，其绝缘套管极易出现闪烁现象，其核心原因则是由于变压器内部结构中，密封橡胶垫是重要的构成零部件，如果橡胶垫的质量不能达到标准要求，会在变压器长周期运行时出现螺母松动问题，极易影响橡胶垫的密封性能，导致部分绝缘区域受到水分侵蚀，如果变压器内部结构或者表面缝隙出现大量杂质或污垢，则会造成变压器管道产生散落现象并伴有异味。

第三，变压器在实际运行过程中，如果自身放电现象不能得到及时有效的处理，其绝缘区域极易受到损坏影响设备的长周期运行。

（二）发电机故障问题

在水电站电气设备中发电机是确保电气设备正常运转的核心组件，该设备极易受到运行环境外部条件等相关因素的影响和作用，造成其绝缘区域出现裂化问题，如果绝缘电阻数值大幅度降低，一旦超过极限范围，机组仍然处于运行状态，则会造成绕组线路短路，出现短路电流，此时发电机会在高压作用的影响下，转子绕组局部随着电流的增加温度上升，严重损坏电流自身的绝缘性能，导致设备出现严重的故障问题，尤其对于水轮发电机来说，由于该设备自身运转速度相对较低，因此即便设备出现故障问题后，其转子的绝缘性仍然无法得到关注和重视。比如：设备转子绕组出现管路故障后，由于此种类型的故障问题并不明显，尤其当故障问题发生初期，对于水电机组的运行不会造成太大影响，极易被忽视，深入探索其核心原因，造成该故障问题的原因主要包含设备转子绕组受到水分侵蚀，其绝缘性能大幅度降低；设备自身内部结构的安装没有达到标准要求，造成绝缘性能大幅度降低；设备内部杂质和灰尘过多，造成绝缘性降低<sup>[4]</sup>。

（三）管理人员素质较低

水电站电气设备在长周期运行和日常维护过程中，管理人员的综合素质与设备是否能够长时间运行具有紧密联系，但是从目前管理人员工作能力进行综合分析，大多数管理人员的专业水平明显不高，知识储备不足，比如：对于部分电器的运转效果，使用功能运转要求以及维护标准并不了解，一旦出现故障问题后，也无法第一时间判断故障位置，在此基础上制定应对策略，或者在日常设备运行过程中不能定期检修设备，影响设备的稳定运转。

三、水电站电气设备运行策略

（一）变压器故障问题

在水电站电气设备运行过程中，变压器如果出现故障问题，则会影响电气设备的长周期运行状态，因此维护团队应选择适合的维护和管理方法稳定变压器，做好基础的预防工作。

首先，要从瓦斯保护方面入手，对于变压器来说，瓦斯保护是重要的构成部分，一方面，轻度瓦斯保护能够有效寻找和释放故障信号，即便变压器内部出现轻微故障问题，同样可以快速定位，帮助维护人员分析故障严重程度，确定故障位置，对设备内部气体进行采样、收集、分析，根据分析结果选择适合的应对措施。

其次，重瓦斯保护主要指通过水电站电气设备跳闸的应对措施，有效将故障电路进行切断处理，此种应对措施主要针对电气设备的严重故障问题，除此之外，重瓦斯保护还能够对电气设备的防爆门，焊接缝隙进行全面勘查，如果出现明显缝隙开裂，则需对变压器的外部结构进行全面勘查，确定其表面是否出现形变问题，随后采取应对措施。

第三，对于变压器设备来说，其内部结构各个区域均有电流保护的能力，但是当变压器出现故障问题后，其电流保护机制反应速度会大幅度降低，导致变压器设备在运行时，与快速切断保

护开关之间出现空白区域,缩短设备的使用寿命,阻碍设备长周期运行。为了有效预防变压器故障问题,避免变压器故障导致电力设备无法稳定运转,管理团队要结合变压器运行特点,启动电流差保护方案,在变压器线路上,根据电流运行现状搭配适合的互感器,当变压器运行状态处于稳定时,线路两边不会出现异常,电流继电器也不会作出明显动作,反之当变压器异常动作时,互感器会立刻作出反应,起到保护作用<sup>[5]</sup>。

最后,速断保护功能主要安装在水电站电气设备电源端,其作用主要是将电气设备的整定值大幅度提高,以此实现设备的保护效果,一旦设备出现故障问题,后速断保护功能会立刻启动,对部分线路和设备进行保护,选择速断保护功能时,其应用范畴和应用方向会出现明显转变,管理团队要结合不同类型的设备运行现状选择适合的速断保护方法<sup>[6]</sup>。

## (二) 发电机故障问题

对于水电站电气设备来说,想要实现长周期运行,发电机是重要的构成部分,一旦发电机出现故障,同样会影响电气设备的高效稳定安全运转,所以要选择行之有效的方法处理发电机故障,维护团队要从以下几个方面入手。

第一,定期对发电机进行内部结构的维修和保养,结合发电机运行现状可以选择轮换运作模式,以此缩短发电机整个机组的停滞时间,避免长时间高速运转对机组自身的绝缘性能造成巨大的负面影响,如果发电机停止运转15天后,要针对其机组以及线路进行干燥处理,避免由于潮湿造成线路损坏<sup>[7]</sup>。

第二,要定期检查维护修改发电机作业指导文件,并结合发电机运行现状以及水电站电力设备运行标准,制定操作文件,明确设备安装流程,避免重复安装检查维修,对转子绝缘结构和基础性能造成损坏。

第三,根据发电机运行特点,维护团队还要在其风动处安装除尘装置,并定期对发电机表面进行抛光打磨和清理,以此减少发电机表面碳粉和灰尘杂质等相关物质的堆积。

## (三) 提高员工素质

对于水电站电气设备来说,技术人员以及管理人员是确保设备长周期运行和高效运转的关键性条件,所以要尽可能提高员工

的综合素养,并加强对电气设备的监督和管理力度,在此基础上明确技术人员与管理人员的工作职责、工作内容和工作要求,确保相关岗位人员能够全面有效充分掌握水电站电气设备的基础性能、使用功能、维护方向以及故障问题<sup>[8]</sup>。比如:水电站电气设备在不同环境下的运行指标,只有这样才能及时发现电气设备的故障问题、故障类型、严重程度以及维修方向,尽可能降低设备产生故障的概率<sup>[9]</sup>。

除此之外,管理部门还要针对电气设备进行全方位、多角度、系统化的监督和管理,结合各岗位员工的工作内容、工作要求以及工作制度,设置合理的轮班管理系统,从根本上实现水电站电气设备全天候、多角度的设备监控和管理目标,同时各岗位员工在日常维护和管理设备时,还要详细记录设备故障问题、运行数据、维修记录、保养信息等相关数据;在日常工作中,岗位员工还要始终坚守基本的工作标准和原则,一旦发现设备出现故障问题和安全隐患后,要及时上报管理部门,并结合设备故障现状,制定一系列应对策略<sup>[10]</sup>。

水电站同样要重视和关注管理人员综合水平文化素养的提升,定期开展与工作内容相关的培训工作,同时所选择的培训内容、培训方向同样要具备针对性和目的性,在此基础上构建科学合理的考核与评估制度,使岗位员工能够对培训工作引起足够的关注和重视。

同时对于岗位员工工作内容与工作要求,还要做好基础的安全教育工作,最大程度提高员工的综合素养,为水电站电气设备长周期安全稳定,高效运行奠定基础条件。

## 四、结束语

由此可见,随着水电站的运行范畴和运行要求随之扩大与提升,不仅需要为社会各个领域和行业提供基本的电能,还起到了缓解资源紧张的作用,现阶段电气设备向智能化、自动化、系统化等方向发展,但是设备在运行时,同样会出现各种类型的故障问题,影响设备长周期运行,所以要从不同方面入手,最大程度确保设备能够安全运转。

## 参考文献

- [1] 韩云. 基于大数据加速分析的水电站电气设备运行监测技术 [J]. 电器工业, 2023, (07): 54-57.
- [2] 妮鹿菲尔·毛吾田. 水电站电气设备运行维护与故障检修研究 [J]. 光源与照明, 2023, (01): 156-158.
- [3] 林雪峰. 水电站电气设备安装的安全技术分析 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(11): 144-146.
- [4] 洪玮, 郑坤, 胡勇, 等. 孤山航电枢纽工程电气设备选型及布置研究 [J]. 水利水电快报, 2023, 44(06): 28-31.
- [5] 韩云. 基于大数据加速分析的水电站电气设备运行监测技术 [J]. 电器工业, 2023, (07): 54-57.
- [6] 妮鹿菲尔·毛吾田. 水电站电气设备运行维护与故障检修研究 [J]. 光源与照明, 2023, (01): 156-158.
- [7] 高辉. 水电站电气设备检修与运行维护现状及提升探讨 [J]. 大众标准化, 2022, (10): 142-144.
- [8] 方思程. 水电站电气设备运行维护与故障检修分析 [J]. 设备管理与维修, 2022, (08): 43-44.
- [9] 王璠. 水电站电气设备的运行安全性及维护管理 [J]. 中国科技投资, 2021, (13): 156-157.
- [10] 杨天煜. 水电站电气运行管控的强化方案与实施要点分析 [J]. 工程设计与设计, 2020, (09): 279-281.



# 新能源发电并网对电能质量的影响研究

王世运

华润新能源（大同阳高）风能有限公司，山西 大同 038100

**摘 要：** 当前能源危机的紧迫性提升，在可持续发展理念下开发新能源是缓解能源资源紧张状况的关键途径。电力作为驱动机械设备运行的核心动力，应用领域极为广泛，因此新能源的研究与应用重点在于实现多种能源向电能的有效转换。面对新能源发电技术所面临的挑战，与现有电网的整合运行可能对电网的稳定性产生影响，本文研究新能源发电并网必要性以及对电能质量的影响，提出对于新能源发电并网提升电能质量的策略，有利于促进国内新型能源技术的发展。

**关 键 词：** 新能源；发电并网；电能质量

## Study on the Impact of Grid-Connected New Energy Generation on Power Quality

Wang Shiyun

China resources new energy (Datong Yanggao) Wind Energy Co., Ltd., Datong, Shanxi 038100

**Abstract：** the urgency of the current energy crisis, under the concept of sustainable development to develop new energy is to ease the tension of energy resources the key way. As the core power of driving mechanical equipment, electric power is widely used in many fields, so the research and application of new energy is focused on the effective conversion from various energy sources to electric energy. Faced with the challenge of new energy generation technology, the integration operation with the existing power grid may have an impact on the stability of the power grid, the strategy of improving power quality by grid-connected new energy generation is beneficial to promote the development of new energy technology in China.

**Keywords：** new energy; grid-connected power generation; power quality

## 引言

在新时代背景下，开始深入探究全球能源分配与气候变化之间的关系。新能源技术因其在缓解全球能源危机和环境问题方面的重要作用，受到国际社会的广泛关注。太阳能、风能以及生物质能等新兴能源形式被视为可持续发展能源体系的关键支撑，然而与传统的燃料相比，新能源存在较大的波动性和供电的不稳定性，为电能质量的稳定运行带来挑战。随着大规模新能源发电并网，确保电力供应质量符合标准，已成为电力工程和技术研究领域需要解决的关键问题。

## 一、新能源发电并网必要性

### （一）资源优化利用

新能源发电并网使用的原因在于能够使可再生能源得到有效地应用。目前主流的能源供给依赖于化石燃料，而化石燃料的剩余量有限且对自然环境产生的污染越发突出。另外新能源标志着环保与清洁，其来源广泛且对环境的破坏小。通过新能源发电并网，能够大面积地开发利用可再生能源，降低对传统能源的依赖，进而改善能源的整体分配格局，转向能源使用的持续性发展<sup>[1]</sup>。

### （二）减少碳排放和保护环境

新能源发电并网的重要性同时体现在降低温室气体排放及维护自然生态。传统电力生成主要依赖煤炭、石油燃烧等手段，导致大量二氧化碳等恶劣气体释放至大气层，气体的排放对地球暖化和气候模式造成了不利影响。相反新能源发电并网几乎不会排放温室气体或其他有害物质，减轻了对空气和水质的污染，因此对环境的保护起到重要的作用<sup>[2]</sup>。通过将新能源融入电网系统，有助于电力供应结构往更环保、低碳的方向改进，降低对生态环境的不利影响。

### （三）提高电力供应的灵活性和可靠性

新能源发电并网可以增进电能供给的柔韧性及确保性。常规

作者简介：王世运（1988.11-）男，汉族，山西省大同市平城区，本科，工程师。研究方向：新能源发电与并网。

发电方式由于受能源存量及分布区域的制约，提供电力具有局限性，在电力消费迅猛扩大的状况下可能会遭遇供不应求的难题。新能源种类繁多分布广泛，如太阳能和风能等，可以在多个区域布置，在不同的时间段产生电能。新能源发电并网能够增强电力供应的柔性，最大化地开发利用各类再生能源，可以均衡电能的供给与需求，减少电力系统的潜在风险，并提升供电的稳定性。

## 二、新能源发电并网对电能质量的影响

### （一）对电网谐波的影响

新能源发电并网主要包含了太阳能系统和风能系统两大类。由于绝缘栅双极型晶体管（IGBT）固有的电学特性以及逆变器脉宽调制（PWM）控制策略的独特之处，新能源发电并网在实际操作中往往伴随着电压和电流的谐波干扰。特别是在太阳能系统中，自然日照的变化性、流动云朵的遮蔽性以及其它物体投下的阴影，都引起太阳能板发电效能的间歇性波动，由此而导致的谐波污染。此外在发电功率较弱的时间段内，电流谐波失真率将显著升高<sup>[3]</sup>。风电场与电网连接时产生谐波的原因主要包括两个方面：一是风力发电系统中功率电子元件引发的谐波；二是电网中并接电容与导线电感共振作用造成的谐波。

比如：某风力发电站配置具备可调速功能的风力发电机，其产生的电流谐波程度与其调制策略以及开关操作的频率相关，采用不同的脉宽调制技术，变速风机发出的电流谐波模式会展现出差异。在固定的开关频率调制下，电流谐波在开关频率的双倍频点附近会形成峰值；而在可调的开关频率调制中，则导致更为显著的中间谐波与亚谐波。此外由电网的非对称故障及配电系统固有的电压谐波造成的额外谐波也会在该可再生新能源发电设备中产生，其表现特征依据变频器的控制策略而定<sup>[4]</sup>。

### （二）对电网频率的影响

在输电网络的正常运行阶段，通常无法碰到频率的异常变动。比如：在较小规模的光伏发电系统中，许多发电装置即刻加入或退出，输电网络的频率依然会控制在既定的安全界限之内。然而随着新能源发电并网在整个电力系统中所占比例日益上升，由于新能源发电并网存在不稳定性，能够引发电网频率的波动，可能对电网本身及其用户带来重大的不利影响。比如：在风力发电站中，可以把电量起伏对电力系统的作用转换成火力发电机组的转速改变与风力发电站产能起伏的传递函数，并搭建评价风电起伏对网络频率的影响模型。通过模拟计算可知，在频率0.01—1.00Hz之间，火力发电机组所发电量的波动程度较高且风电的起伏对整体电网产生显著影响，构造风力机组的等效单机模型和结合实际测得的风机输出功率，能够模仿不同电力渗透水平下电网频率的变化情况。比如：在一组1.5MW的绿色能源发电机组中，如果电力系统的频率偏差振幅是0.5Hz，当新能源发电并网的市场渗透率达到18%时，所产生的频率偏差将最贴合既定的标准界限。在新能源发电并网实践中，为了适应电力网络大面积采纳绿色能源的情形，深入分析新能源发电的不稳定特质及其不规则性，需要新能源发电的输出预测与电网运营的调度策略紧密结

合起来，监测电网频率的变化，确保新能源发电并网能够稳定供电，满足社会生产和民众生活的需求。

### （三）对馈线稳态电压的影响

在传统的电网装置中，短期的电压减少通常不会引发严重损害，但现代电网中多样的器材对电压的稳定性响应不同，尤其是对电压波动非常敏感的精细化设备，即便是瞬间的电压降低，也可能导致重大的经济损失。在新能源发电并网中维持供电网的电压稳定，需要借助于变压器和动态无功补偿设施的帮助。在实施电压调控过程中，如果新能源发电并网的份额超标，由于发电功率波动较大，可能引起供电路线超负荷，无法确保电力调配的平稳执行。同时新能源发电并网中发电站相互之间的间隔对此具有决定性的作用，随着新能源发电站和传统电站的间隔扩大新能源发电并网在电力系统中的比例也相应提升，与电力输送的距离关联密切，在负荷比例上升的情况下发电侧可能会出现电流反向流动的现象，并且电压分布也无法保持一致<sup>[5]</sup>。

### （四）对孤岛现象的影响

随着电力网络承受力的减轻，新能源发电并网将持续向电力网络供能，需要确保该网络具备自主运行的能力，避免孤岛现象出现。孤岛现象可能导致网络在电压和频率上发生不稳定波动，如果波动超过了电力网络运行的安全门槛可能对设备的正常运作造成严重影响<sup>[6]</sup>。孤岛现象不仅对电力系统产生剧烈撞击，同时也会危害工作人员的身体健康，如果输电线路出现孤岛状态，自动断电的可能性将会持续存在；当电网负荷能力超出预设阈值时，可能会导致运行过速，从而引发逆变设备过热现象，增加火灾风险，从而对维护人员的生命安全构成潜在威胁。

## 三、新能源发电并网对电能质量控制策略

### （一）电力系统调度优化

在新能源发电并网下，为保持系统稳定，电网的调控优化成为重要环节，通过采用高智能技术来合理安排发电单元的发电量，维持电网运营的经济效益与稳定性之间的平衡，包括减少输电损耗、提升发电单元工作效率、保障电能质量以及更加灵活对待新能源发电并网产能的波动。在电力系统的优化调控过程中，运用数理模型和高效计算方法对包含常规燃油发电设施、新能源发电单元、消费负载等元素的系统进行精确塑造，并对电网的结构连接特性进行深入的探讨。由于如风能与太阳能发电这类新能源的可变性，采用高级智能算法对发电量进行实时动态调整，可以充分响应新能源变动带来的供电系统的不稳定性，实现最佳发电效益。在设计高效的电力调节方案时，需要综合考虑电力系统面临的实际状况，如新能源产能、用电需求以及输电网络的传输效率等多种要素，通过精准的电力分配与调控，能有效地降低新能源不稳定性给电网带来的影响，增强电力网络的健康度与稳健性，因此精细化的电网调度能够同时保障新能源发电并网和电力系统运行稳定<sup>[7]</sup>。

### （二）应用储能技术

随着新能源发电并网比例不断上升，电力供应系统经常遇到

因为新能源的波动性和间断性所引起的供电与需求之间的失衡状况。为了有效地解决上述问题，现代电力供应系统正日益采用众多不同的储能手段，包括电池储能、超级电容和超导储能。其中，电池储能技术因其广泛的应用而占据主流，特别由于锂电池的高储能效率、较长的使用周期和迅捷的充放电特性而应用广泛。锂电池储能技术为电力网络提供了包括频率控制、负载均衡和电压维持在内的核心服务。超级电容器相较于常规电池，在充电和放电的速度上展现了更高的效率，融合一般电容器的高功率优点以及电池的强储能特性。尽管超级电容器储能总量不及电池储能，但在电力系统中对于迅速响应的环节具备较强的优越性。超导储能技术借助无电阻的超导线圈进行电能储存，不仅效能较高还具备延长使用寿命的特质。当与其他储能方式相比，超导储能技术能基本零损耗地存储和释放能量，因此在对高功率、短时效应的电力场景，例如维护电网稳定性及负载平衡中，显现出巨大的应用前景。

### （三）设置适当的滤波设备

随着新能源发电并网，在多元因素作用下配电网络的结构形态会相应变化，导致故障发生时电流的路径和强度出现变动，增加电力系统配合的复杂程度，并可能对保护措施的功效带来负面效应，因此在风力发电厂运营中，需注意风力增减现象的单独出现<sup>[8]</sup>。同时风力发电厂的集约式并联同样会容易引发较强的区域性谐波电流，所以需要混合使用不同类型风力涡轮机进行安装。在电力供应网络里，需要制定能够发出与消纳感性电压的谐波滤除装置，能够大幅提升系统的功率因素和电压的稳定程度，也能更加有效地管控系统的振动情况。当有降低网络滤波功效的需求时，通过对电力分配网的可靠性进行评估，能为该网络制定出最理想的供电策略<sup>[9]</sup>。在输电网络中，持续上升的负荷需求和长距离传输导致输电过程中出现低频率振荡，需要通过有效手段加以调节。如果遇到温度增高、供电条件变化等外部因素作用，会导

致系统参数的变动，从而影响到系统固有的频率。在供电条件保持稳定的情况下，系统可能会发生共振现象，严重影响电力系统的传输效能和输出功率。

### （四）智能调度与协同控制

其一，监控系统持续追踪新能源发电并网的频率、电压以及短暂平衡等重要参数，可以实时捕获关于电力系统性能的数据，此外相关信息与数据被送往智能调控中心可以支持未来决策的制定。其二，调控系统依据即时数据进行性能分析，可以拟定合适的管理方案，例如调节储电设施状况或对充放电活动进行智能分配，提升整个系统的性能水平。在此流程内，智能分配系统主要针对电力需求与新能源发电量的不同，策划存储电力设备的充电和放电计划，确保电力供应的稳定与均衡。其三，系统利用智慧型调度及协作控制，有效实施电力系统即时的反应与调节，确保在并入新型能源发电的情况下，系统能够快速适应各种运行状况，保持电力网络的平衡。利用智能化调度和协作控制手段，能对新能源发电并网的不稳定性实现更加灵敏、智能地应对，增强系统的可靠性与坚固性，为实际操作带来有效的应对策略<sup>[10]</sup>。

## 四、结束语

总而言之，在技术的发现下，新能源发电并网取得显著成果，通过风能、太阳能和海洋能转换为电能，有利于降低环境污染，并促进自然生态可持续性。然而在新能源发电并网中对电网谐波、电网频率、馈线稳定电压、孤岛现象产生的影响，不利于控制电能质量，因此需要由于电力系统调度，应用储能技术，设置适当的滤波设备，智能调度与协同控制，保障供电的稳定性，确保人们日常生产和生活用电，同时保持能源产业健康稳健发展，助力社会发展与进步。

## 参考文献

- [1] 蒋媛杰. 新能源发电并网对电网电能质量的影响分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(12): 92-93.
- [2] 张立东. 新能源发电并网对电网质量的影响分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 404-405.
- [3] 万文文, 张国平, 张旭. 新能源发电并网对配电网运行的影响分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(07): 282-283.
- [4] 王艳. 新能源发电并网对电网电能质量的影响及控制措施 [J]. 光源与照明, 2023, (06): 243-245.
- [5] 宋昌军. 新能源发电并网对配电网运行的影响及应对措施 [J]. 电气技术与经济, 2023, (01): 147-149.
- [6] 王芳. 新能源发电并网系统的控制 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (18): 73-75.
- [7] 张丹, 万雄彪, 何常胜, 等. 基于谐波能量分布特征的新能源并网发电系统短时孤岛检测新方法 [J/OL]. 昆明理工大学学报 (自然科学版), 1-12[2024-08-23].
- [8] 吴杰, 杜思阳. 新能源发电并网接入技术稳定性及可靠性分析 [J]. 自动化应用, 2023, 64(S2): 24-26.
- [9] 许嘉雯. 储能技术在新能源发电技术中的应用研究 [J]. 应用能源技术, 2023, (12): 41-45.
- [10] 马乐. 新能源发电并网调度自动化系统设计要点 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (21): 7-9.

# 为什么汽轮机乏汽不直接送至锅炉加热再做功？

刘继婵

内蒙古汇能煤化工有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘 要：** 随着中国工业化进程的进步，科学技术进步和资源的综合开发利用以及新材料、新技术、新设备、新工艺不断地引进，我国电力、石油化工工业也得到了飞速发展，逐渐形成了电力、石油化工装置设备的新特点，即大型化、单系列、自动化、智能化和连续化，进口汽轮机与国产的工业汽轮机两架马车在电力、石油化工装置中都得到了广泛的利用<sup>[1]</sup>。汽轮机被广泛的应用在石油化工、金属冶炼和电力领域。在化工领域，汽轮机常被用作拖动压缩机或膨胀机的原动机，应用在空气分离装置、冷媒压缩装置以及工艺气液化等装置。在电力领域，汽轮机最主要的用途就是拖动发电机组，克服电磁阻力，通过电磁感应实现做功发电。当然，一些中小型的辅助设备，考虑节能降耗，有些装置也使用汽轮机作为原动机，例如汽动给水泵就是利用汽轮机作为原动机拖动高压给水泵将给水升压后供锅炉使用的辅助设备。

**关 键 词：** 汽轮机；乏汽；回收

## Why is the Exhaust Steam of the Steam Turbine Not Directly Sent to The Boiler for Heating and Then Doing Work?

Liu Jichan

Inner Mongolia Huineng Coal Chemical Co., Ltd. Ordos, Inner Mongolia 017000

**Abstract：** With the progress of China's industrialization process, the comprehensive development and utilization of scientific and technological progress and resources, as well as the continuous introduction of new materials, new technologies, new equipment and new processes, China's power and petrochemical industries have also developed rapidly, gradually forming new features of power and petrochemical plant equipment, namely large-scale, single series, automated, intelligent and continuous. The two carriages of imported turbines and domestic industrial turbines have been widely used in power and petrochemical plants. Turbines are widely used in petrochemical, metal smelting and power fields. In the chemical industry, steam turbines are often used as prime movers for drag compressors or expanders, and are used in air separations, refrigerant compressors, and process gas liquefaction. In the field of power, the most important use of steam turbines is to drag the generator set, overcome electromagnetic resistance, through electromagnetic induction to achieve power generation. Of course, some small and medium-sized auxiliary equipment, considering energy saving, some devices also use the steam turbine as the prime mover, such as the steam feed pump is to use the steam turbine as the prime mover to drag the high-pressure feed pump to boost the feed water for the auxiliary equipment used by the boiler.

**Keywords：** steam turbines; waste gas; recycling

### 一、汽轮机概论与能量转换

工业汽轮机是以蒸汽为工质，将蒸汽热能转变为转子旋转机械能的动力机械，它具有单机功率大、效率高、转速高、调速方便、使用寿命长、运行安全可靠等优点，因此，被广泛应用于电力、石油化工、冶金等行业。<sup>[2]</sup>

石油化工装置大多采用工业汽轮机作为原动机来驱动压缩机、风机、泵及发电机等工作机械。为了提高石油化工装置的独立性，减少对电网的依赖性，提高开工率，一般都建有汽轮机发电机组的自备电站，既供热又供电，这样可减少远距离输电和送汽，既解决本装置生产和生活的用汽，又可综合利用本装置资源，如生产过程

的余热、余料等，这种热电联合的自备电站经济效益很明显，自备发电与公用发电并存，如有裕量还可向公用电网送电。<sup>[3]</sup>

#### 1. 工业汽轮机的定义

工业汽轮机是指工业企业中驱动用汽轮机与自备电站发电用汽轮机的总称，即指除公用电站汽轮机和船舶用汽轮机以外的各种类型的汽轮机。<sup>[4]</sup>

工业汽轮机应用范围：

(1) 厂矿企业的自备供热发电用的汽轮机；<sup>[5]</sup>

(2) 石油化工、冶金等行业装置中用于驱动泵、鼓风机、压缩机等工作机械的汽轮机；<sup>[6]</sup>

(3) 自备电站用于驱动锅炉给水泵和风机的汽轮机；<sup>[7]</sup>

作者简介：刘继婵（1983.07—），男，汉族，群众，大专学历，研究方向为机电一体化，化学工程与工艺专业，电力系统中级职称，现就职于内蒙古汇能煤化工有限公司。



(4) 船舶用的各类辅助动力用汽轮机。<sup>[8]</sup>

## 2. 工业汽轮机的特点

工业汽轮机的应用范围十分广泛, 使用场合各不相同, 对进排汽参数、功率、转速以及布置型式和调节特性等方面, 也都有各种不同的要求, 因此品种非常繁杂, 型式多样。目前工业汽轮机产品已系列化生产, 最大程度地满足用户对工业汽轮机的需求, 其主要特点是:

(1) 使用领域宽广, 易实现转速调节, 具有较大的转速调节范围, 通常为额定转速的  $-10\%\sim+15\%$ , 特殊情况可达额定转速的  $-40\%\sim+30\%$ , 增加了调节手段或操作的灵活性;

(2) 汽轮机的转速高, 变转速范围大, 转速范围可达  $3000\sim16000\text{r/min}$ , 可用来直接驱动工作机械;

(3) 适用于各种工作环境, 满足防尘、防爆和防腐蚀等的特殊要求, 无易燃、易爆危险。

## 3. 汽轮机的做功过程

在电力火化工生产领域中, 燃料的化学能转变为热机的机械能, 或者化工余热副产蒸汽直接冲动汽轮机做功, 进而转换为电能, 能量转化是通过蒸汽动力循环来实现的。能量转换过程的效果主要取决于循环过程的完善程度。蒸汽动力循环是以朗肯循环为基础, 因此, 我们从研究朗肯循环入手来研究汽轮机能量转化的热经济性。朗肯循环工质的循环经历了四个热力过程, 首先, 工质在锅炉中定压加热、汽化、过热的过程, 然后蒸汽在汽轮机中等熵膨胀做功, 接着汽轮机乏汽排入凝汽器中定压放热, 最后是凝结水在水泵中等熵压缩的过程<sup>[9]</sup>。朗肯循环的热效率表示  $1\text{KG}$  蒸汽在汽轮机中产生的理想功与循环吸热量之比, 纯凝汽式(无回热、再热)发电厂的热经济性是很低的。根据热力学第一定律的实质即能量守恒与转换定律在热力学上的一种特定应用形式, 他说明了热能与机械能相互转换的可能性及数值关系<sup>[10]</sup>(热量法)可知, 提高发电厂热经济性的途径是减少冷源损失; 根据热力学第二定律(做功能力损失法), 提高发电厂热经济性的途径是减少锅炉传热温差, 提高锅炉的给水温度, 从而降低温差传热而产生不可逆传热损失, 汽方法是采用回热、再热、热电联产等来提高发电厂的热经济性。

## 4. 蒸汽终参数对电厂热经济性的影响

在蒸汽初参数一定的情况下, 降低蒸汽终参数  $p$ 。将使循环放热过程的平均温度降低, 根据  $\eta=1-T_c/T_1$  可知, 理想循环热效率将随着排汽压力  $P_c$  的降低而增加。降低排汽压力  $P_c$ , 使汽轮机比内功  $W_i$  增加, 理想循环热效率增加。

在决定热经济性的三个主要蒸汽参数初压、初温和排汽压力中, 排汽压力对机组热经济性影响最大。经计算表明在蒸汽初参数为  $9.0\text{MPa}$ 、 $490^\circ\text{C}$  时, 排汽温度每降低  $10^\circ\text{C}$ , 热效率增加  $3.5\%$ ; 排汽压力从  $0.006\text{MPa}$  降低到  $0.004\text{MPa}$ , 热效率增加  $2.2\%$ 。由此可知, 排汽压力越低, 工质循环的热效率越高。<sup>[11]</sup>

排汽压力  $P_c$  降低, 对汽轮机相对内效率不利。随着排汽压力的降低, 汽轮机低压部分蒸汽湿度增大, 影响叶片的寿命, 同时湿汽损失增大, 汽轮机相对内效率下降。过分地降低排汽压力, 则会使热经济性下降。因为随着排汽压力的降低, 排汽比体积增大, 在余速损失为一定的条件下, 就得用更长的末级叶片或多个

排汽口, 凝汽器尺寸增大, 投资增加。若排汽面积一定, 则排汽余速损失会增加。当  $P_c$  降至某一数值时, 带来的理想比内功的增加等于余速损失增加时,  $P_c$  达到极限背压, 当  $P_c$  小于极限压力后, 再降低  $P_c$  则会使机组热经济性下降。因此, 在极限背压以上, 随着排汽压力  $P_c$  的降低热经济性是提高的。

实际情况下, 汽轮机排汽的饱和温度, 必然大于以下两个极限: 理论极限——排汽的饱和温度必须等于或大于自然水温, 绝不可能低于这个温度; 技术极限——冷却水在凝汽器内冷却汽轮机排汽的过程中, 由于冷却蒸汽的凝汽器冷却面积不可能无穷大的缘故, 排汽的饱和温度应在自然水(冷却水)水温的基础上加上冷却水温升和传热端差。汽轮机的排汽压力应对应于排汽饱和温度所对应的压力, 在运行中它的大小取决于冷却水的进口温度, 冷却水量和铜管的清洁度, 空冷机组取决于散热翅片的脏污程度。

在设计时, 凝汽器内的最佳蒸汽压力(即最佳真空), 是根据各种方案进行复杂的技术经济比较后确定的。制造厂提供的动力设备铭牌上的排汽压力, 并不是为个别发电厂的具体条件而设计的, 而具有较广泛的通用性。对具体的电厂来说, 由于各地的自然条件和燃料价格等的不同, 成批生产的通用设备的排汽压力并不一定是最经济的, 这就要求根据电厂的具体情况来确定凝汽器的最佳真空。

## 二、汽轮机乏汽的直接回收在实际工业生产过程中是否切实可行?

根据前述热力学第一定律(热量法)描述, 减少冷源损失的关键就是回收汽轮机乏汽的汽化潜热, 因此提出, 将汽轮机乏汽直接送至锅炉加热后再做功的观点, 从总体能量转化的观点是没有问题的, 但是应用到生产实际中是否可行呢? 今天, 我们就着重论述关于乏汽是否能直接回收至锅炉加热后重新做功在实际应用中是否可行。

研究和分析蒸汽动力循环对提高火电厂的经济性是非常重要的。汽轮机作为化工和电力领域广泛使用的重要设备, 其使用工质为水蒸汽, 不同之处仅是不同的水蒸汽参数应用在不同工况下的汽轮机。但是对于纯凝机组来说, 做完工的乏汽基本大同小异, 只是乏汽冷凝使用的冷媒不同, 在南方水资源丰富的地区, 一般都用水作为冷媒间接换热冷凝乏汽; 在北方干旱地区, 近年来, 大力推广使用直接空冷器, 用环境空气作为冷媒冷却乏汽。考虑到工艺流程中都有乏汽的冷凝, 不少人提出这样的疑问, 为什么汽轮机乏汽不直接送至锅炉加热再做功呢? 这个想法很有道理, 节约能源、高效利用, 做完功以后的乏汽非要被水或空气冷却一下才往锅炉里面送, 大量的气化潜热被送到冷却介质里, 占了整个蒸汽工质焓值的一半, 实在可惜。所以提出把乏汽直接送入锅炉的想法绝对是好的, 是有思想的。大大的一个但是, 通过查阅《工程热力学》《汽轮机运行》《汽轮机运行与检修1000问》《工业汽轮机技术》等相关专业资料, 也没有找到关于这一问题的直接论述, 尤其通过对热力循环的基础——朗肯循环仔细地重新学习, 也没找到答案, 所以沿着问题的思路反向思考, 出现了一个新的问题——如果将汽轮机做完功的乏汽直接送到锅炉里会发生什么情况? 如何尽可能地减少热量损失?

### 1. 直接用压气机将乏汽提压送到锅炉里。

百十年来，用水蒸气作为工质的热机基本都是一个模式，做功后的乏汽进入换热器被冷却成凝结水，然后用通过高压给水泵打到锅炉里重新加热。

现在我们试试用压气机将未经冷却的乏汽直接送到锅炉里看结果是怎样：

通过工程热力学的有关知识我们可以知道，具有压力  $p_1$  温度  $t_1$  的水蒸汽进入汽轮机做功，汽轮机排出的乏汽压力为  $p_2$  温度为  $t_2$ ，且  $p_1 > p_2, t_1 > t_2$ 。现在我们用压气机将乏汽压力提高到  $p_1$ ，看看会发生什么情况？

从焓熵图上看，乏汽从点  $(p_2, t_2)$  经压气机压缩到达  $p_1$  等压线某点  $(p_1, t')$ ，很显然，不管熵增大小， $t'$  都远远大于  $t_2$ ，压缩提压过程的焓增都远远大于汽轮机做功过程的焓降。也就是说乏汽不经冷却而提压进入锅炉，所付出的代价将远远大于汽轮机的输出功。简单来说就是，付出百分百的努力，仅仅得到百分之10的回报，俗称就是亏本买卖。

### 2. 用带有中间冷却的压气机将乏汽提压

实际工程上采用的压缩机基本都带中间冷却的，气体被压缩之后温度会上升。例如，很多科普文章把飞船返回大气层遇到的高热解释为摩擦生热，其实是高速运动的物体压缩了前面的空气造成温度急剧上升，行话叫绝热滞止过程，摩擦热放到这里相对来说就是小巫见大巫了。

下面分析一下正常的、工程上用的、带中间冷却的压气机将乏汽提压的情况，前提是冷却过程中水蒸气不能变成水、工质不损失气化潜热，否则这个讨论就没有意义了。

简单分析：

1) 提压幅度过大，从汽轮机的乏汽压力 0.0053MPa 提升到锅炉压力十几、二十几兆帕，过程压缩级数过多，效率高不到哪儿去。

2) 压缩过程从点  $(p_2, t_2)$  沿着  $x=1$  干度线到达  $p_1$  等压线，你会发现压缩过程的终点  $p_1$  对应的饱和温度离  $t_1$  已经没多远，锅炉加热过程的焓升空间已经没多少，也就是说基本上没锅炉什么事。你做的功大多数是用来驱动压气机的。整个系统净输出功率较低。

3) 从温熵图上简单勾了几笔，发现无法和朗肯循环进行比较，因为无法定性比较两种循环的平均放热温度和平均吸热温度比值  $T_2/T_1$ ，后来在准备用实际参数在温熵图上进行图上作业，求出两种循环的  $T_1$  和  $T_2$ ，考虑到朗肯循环是个理想循环，拿实际参数作比较无法作出有效对比，所以最终放弃，因为“此时朗肯循环的热效率相当低。

从实际出发，如果想尽可能利用乏汽的热量，不丢失气化潜热，现有的蒸汽轮机设计必须改变：

1) 选择一种工作温度远远高于饱和温度的工质，采用多级压缩中间冷却。

2) 尽可能提高  $t_1$ ，提高系统效率，否则不划算。

3) 和蒸汽轮机一样，再热、回热循环同样可以利用到新的蒸汽轮机上。

### 3. 燃气轮机情况

根据以上的分析，我们考虑燃气轮机的情况，显然燃气轮机

符合以上所说的三个条件。但是，燃气轮机排出的废气还能再灌到燃机里面去吗？氧气减少了燃气怎么燃烧呢？

直接看看——燃气轮机循环—闭式循环：

“工质循环使用，由透平排出的工质，不再在大气中作等效冷却，而是经冷却器冷却后重新被压气机吸入，再次参加循环过程。压缩后的气体工质在气体锅炉（或加热器）中被加热。闭式循环中，工质可用空气或其他气体。闭式循环的主要缺点是包括气体锅炉在内的换热器尺寸大、成本高和  $T_3$  温度低等，因而应用不多。若采用气冷反应堆作为加热气体工质（用 He 或  $N_2$  等）的热源，就组成了核动力闭式循环装置，其效率可高于采用汽轮机的核动力装置。”

## 三、总结

1. 乏汽不经冷却直接送往锅炉（加热器）是不可行的，因为气体经压缩后回到初始压力，其付出的代价远远高于其对外输出的功。

2. 乏汽经冷却但不丢失气化潜热（不凝结成水）是可以的。但对于目前大规模应用的、工质为水蒸气的蒸汽轮机不适合。目前最合理的办法仍然是将乏汽冷凝成水用高压给水泵升压送入锅炉。

3. 闭式循环气燃气轮机（氦气轮机）接近主题所说的设想，最大限度地保留了乏汽的热量，但仍然需要将乏汽冷却，冷却的目的是为了将气体压缩。

4. 人们很早就认识到乏汽把气化潜热扔到水里的问题，采取的措施就是采用回热循环，用做过功的乏汽去加热锅炉给水，尽量减少乏汽冷凝成水的量，减少损失。

## 参考文献

- [1]《工业汽轮机》/王学义编。——北京：《中国石化出版社》，2010年9月 ISBN 978-7-5114-0574-6.
- [2]《汽轮机设备与运行》/张磊，马明礼主编。——北京：《中国电力出版社》，2008年4月第一版 2009年2月北京第二次印刷 ISBN 978-7-5083-6330-1.
- [3]《汽轮机运行》/《火电厂生产岗位技术问答》编委会编。——北京：《中国电力出版社》，2010年8月 ISBN 978-7-5123-0556-4.
- [4]参考文献《汽轮机运行与检修1000问》/姚莹，杨翠仙编。——北京：《中国电力出版社》，2005年1月第一版 2007年9月北京第三次印刷 ISBN 978-7-5083-2369-5.
- [5]《工程热力学》/张净玉编。——北京：《北京航空航天大学出版社》，2022年1月 ISBN 978-7-5124-3637-4.
- [6]《单元机组运行》/杨飞主编。——北京：《中国电力出版社出版社》，2004年1月 ISBN 7-5083-0762-3.
- [7]《热力发电厂》/叶涛主编。——北京：《中国电力出版社出版社》，2012年4月 ISBN 978-7-5123-32931-7.
- [8]《汽轮机运行值班员》/门丕勋、虞硕亮、刘卫、陈传光、孙斌编写。——北京：《中国电力出版社出版社》，2006年10月 统一书号 155083 · 308
- [9]《锅炉设备运行》/刘润来、郭林虎主编。——北京：《中国电力出版社出版社》，2005年3月 ISBN 7-5083-2441-2.
- [10]《锅炉技术问答》/丁明舫、催百成、陆其虎、薛继承、时静茹主编。——北京：《中国电力出版社出版社》，2002年2月 ISBN 7-5083-07725-9.
- [11]《锅炉设备运行》/郭连邦、刘润来主编。——北京：《中国电力出版社出版社》，2004年3月 ISBN 7-80125-188-1.

# 电容补偿对电力系统功率因数及稳定性的影响分析与控制策略

林桂鹏

深圳市宝睿能源发展有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要：** 本文针对电容补偿在电力系统中的应用, 对电容补偿对电力系统功率因数和稳定性的影响进行分析, 并提出相应的控制策略。首先, 介绍了电容补偿的基本原理和分类。然后, 通过数学模型和仿真实验, 分析了电容补偿对电力系统功率因数和稳定性的影响。最后, 提出了相应的控制策略, 包括电容补偿的优化设计和电力系统的状态观测器设计, 并通过仿真实验验证了所提控制策略的有效性。

**关 键 词：** 电容补偿; 电力系统; 功率因数; 稳定性; 控制策略

## Influence Analysis and Control Strategy of Capacitance Compensation on Power Factor and Stability of Power System

Lin Guipeng

Shenzhen Baorui Energy Development Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** Aiming at the application of capacitance compensation in power system, this paper analyzes the influence of capacitance compensation on power factor and stability of power system, and puts forward the corresponding control strategy. Firstly, the basic principle and classification of capacitance compensation are introduced. Then, the influence of capacitance compensation on power factor and stability of power system is analyzed by mathematical model and simulation experiment. Finally, the corresponding control strategy is proposed, including the optimal design of capacitance compensation and the state observer design of power system, and the effectiveness of the proposed control strategy is verified by simulation experiments.

**Keywords：** capacitance compensation; electric power system; power factor; stability; control strategy

### 引言

电力系统稳定性和功率因数是电力系统运行的重要指标。功率因数是指电气设备的有功功率与视在功率之比, 是反映电气设备功率利用的一个重要参数。当电力系统的功率因数达到一定值时, 可以提高系统的稳定性和减少无功功率的损耗。而电容补偿是常用的提高电力系统功率因数的方法之一。

### 一、电容补偿的基本原理及特性

#### (一) 基本原理

电容补偿是一种用于改善电力系统功率因数和稳定性的技术, 其基本原理是在电力系统中增加电容器来补偿无功功率, 从而提高系统的功率因数和稳定性。

电容补偿的原理可以追溯到19世纪, 当时电力系统还采用纯无功补偿方式。但是, 当电力系统规模增大时, 纯无功补偿方式无法满足系统的稳定性要求。因此, 出现了电容补偿技术。在整个输配电过程中, 要想电网能够安全稳定运行, 就必须有无功功率补偿, 为了做好这个工作, 近几年全国供电部门对各个用电

部门提出了硬指标要求, 要求功率因数不得低于0.9, 否则将进行相应处罚。<sup>[1]</sup>

电容补偿的基本原理是在电力系统的交流网络中增加电容器来实现无功补偿。电容器的无功功率与电感器的无功功率相互补偿, 从而抵消掉系统中的无功功率。这样, 系统的功率因数可以得到提高, 稳定性也可以得到改善。考虑到超级电容能量密度低, 引入石墨烯后, 其能量密度将大幅提升。<sup>[2]</sup>

电容补偿的实现方式有多种, 包括串联电容器、并联电容器和复合电容器等。在实际应用中, 电容补偿的选取需要根据系统的具体情况来确定, 以确保达到最佳补偿效果。“电容炭是超级电容器的电极材料。电容炭指标关系着超级电容器的储能特性。目



前，超级电容器在各领域应用前景非常广阔。”<sup>[3]</sup> 电容补偿是一种常用的电力系统补偿技术，其基本原理是在系统中增加电容器来补偿无功功率，从而提高系统的功率因数和稳定性。

### （二）特性

1. 能够提高电力系统的功率因数和稳定性。
2. 能够对电力系统中的无功功率和电压、电流进行同时补偿。
3. 能够有效地减少电力系统中的无功损耗和电压、电流的波动。
4. 能够提高电力系统的动态响应和稳态响应。

## 二、电容补偿的作用

1. 提高电力系统的稳定性电力系统中，电压和电流的不稳定性可能会导致电力系统的运行不稳定，甚至可能引发事故。电容补偿能够通过提高电力系统的电容性，减少电流的振荡和波动，从而提高电力系统的稳定性。

2. 提高电力系统的功率因数电力系统的功率因数是指电力系统中无功功率与有功功率之比。当电力系统的功率因数较低时，说明电力系统中存在较多的无功功率，会导致电力系统的电压降低，电力系统的传输效率降低。电容补偿能够通过提高电力系统的电容性，减少无功功率的存在，从而提高电力系统的功率因数。

3. 减少电力系统的谐波污染电力系统中存在各种非线性负载，如电动机、变压器等，这些负载会产生谐波电流，导致电力系统的电压和电流出现波动。电容补偿能够通过提供无功功率，抵消谐波电流，从而减少谐波污染，提高电力系统的稳定性。

## 三、电力系统功率因数的影响因素及分析

### （一）影响因素

1. 负载电流：负载电流的大小和性质会影响电力系统的功率因数。当负载电流较大时，电压与电流的相位差角会变大，导致功率因数降低。

2. 电源电压：电源电压的波动和干扰也会影响电力系统的功率因数。当电源电压不稳时，电压与电流的相位差角会变大，导致功率因数降低。

3. 电容器容量：电容器容量的大小会影响电力系统的功率因数。如果电容器容量较小，电容器无法补偿负载电流，导致电压与电流的相位差角变大，功率因数降低。

4. 线路阻抗：线路阻抗的大小也会影响电力系统的功率因数。当线路阻抗较大时，电压与电流的相位差角会变大，导致功率因数降低。

5. 电源滤波器：电源滤波器可以减少干扰和波动，从而提高电力系统的功率因数。

6. 系统稳定性：电力系统的稳定性也会影响功率因数。当系统出现不稳定时，电压与电流的相位差角会变大，导致功率因数降低。

### （二）分析

假设一个1000kV的电力系统中，由于负载的随机性和非线性特性，使得系统的功率因数经常偏离额定的值。在这种情况下，电力系统的运行状态会受到影响，可能导致电压降低、电流增大、设备过热等问题，最终影响整个电力系统的稳定性和可靠性。当采用定补偿电容设计时（即失谐率不随耦合系数改变），WPT系统难以在宽范围的耦合系数区间内保持一个稳定的功率输出。<sup>[4]</sup>

## 四、电容补偿对电力系统功率因数的影响分析

电容补偿是一种用于改善电力系统功率因数和稳定性的技术，通常用于电力系统的无功补偿。它通过在电力系统中添加电容器来抵消无功电流，从而改善电力系统的电压和电流特性。电容薄膜供求关系的变化，使得产业链上下游的企业呈现不同的感受。<sup>[5]</sup> 在电力系统中，电容补偿可以对电压和电流产生影响。具体来说，电容补偿会改变电力系统的电压和电流响应，从而影响电力系统的稳定性。电容补偿还可以改变电力系统的功率因数，从而影响电力系统的效率。对于电容补偿对电力系统电压的影响，它通常会导致电压降低。这是因为在电容补偿中，电容器会抵消掉一部分无功电流，从而减少电压的峰值和电压的波动。因此，电容补偿通常用于降低电压的波动和峰值，以提高电力系统的稳定性。对于电容补偿对电力系统电流的影响，它通常会导致电流减小。这是因为在电容补偿中，电容器会抵消掉一部分无功电流，从而减少电流的峰值和电流的波动。因此，电容补偿通常用于降低电流的波动和峰值，以提高电力系统的稳定性。

## 五、电容补偿对电力系统稳定性的影响分析

电容补偿是电力系统中常用的无功补偿装置，用于改善电力系统的功率因数和稳定性。电容补偿可以补偿电力系统中无功功率的损失，提高电力系统的稳定性和功率因数。

电容补偿可以改善电力系统的稳定性。当电力系统中的负载发生变化时，电力系统的电压和电流也会随之发生变化。如果这种变化超出电力系统的稳定范围，就会导致电力系统的不稳定。电容补偿可以补偿这种无功功率的损失，使得电力系统的电压和电流保持在稳定范围内，从而提高电力系统的稳定性。

电容补偿可以提高电力系统的功率因数。功率因数是电力系统中一个重要的参数，表示电力系统中无功功率与有功功率之比。当电力系统的功率因数降低时，表明电力系统中存在过多的无功功率，导致电力系统的电压和电流波形出现失真。通过电容补偿，可以减少电力系统中的无功功率，提高电力系统的功率因数，从而改善电力系统的电压和电流波形。

## 六、电容补偿对电力系统稳定性的实例分析

假设一个300 MHz的电力系统，由于负载的不平衡，导致功率因数下降到0.8。在这种情况下，电容补偿可以通过增加电容器



来改善功率因数，并提高系统的稳定性。电容补偿交错并联 LLC 谐振变换器的均流特性。<sup>[6]</sup>

具体来说，电容补偿的原理是在电力系统中增加电容器，使得电流与电压之间的相位差得到校正。在上述例子中，可以通过在系统中添加一个 100 pF 的电容器来实现。这个电容器的值应该根据电力系统的具体参数进行选择，以确保最佳的补偿效果。电力系统只有一种稳定性或者不稳定性，电压稳定与功率稳定只是电力系统稳定分析的两种极端情形。<sup>[7]</sup>

添加电容器后，电力系统的功率因数会得到改善。在这个例子中，添加电容器后，功率因数可以提高到 0.95，从而提高了系统的稳定性。此外，电容补偿还可以提高电力系统的抗干扰能力，减少系统受到外部扰动的影响。电容变形的根本原因是电容内部压力无法释放使外壳膨胀，一般电容内部压力来自温度和电击穿。<sup>[8]</sup>

## 七、电容补偿的优化及控制策略

### （一）优化方法

1. 电容器的选择：电容器的选择应该根据电力系统的实际情况来确定。一般来说，电容器应该选择具有高容量、高电压、高电流、低损耗、稳定性好等特点的电容器。此外，在选择电容器时，还需要考虑到电容器的使用寿命、维护难易度以及经济性等因素。

2. 电容补偿的计算：电容补偿的计算需要考虑到电力系统的具体情况，包括电力系统的电压、电流、功率因数等参数。在计算电容补偿时，需要考虑到电容器的容量、电压、电流等因素，以确保电容补偿能够有效地调节电力系统的稳定性。

3. 电容补偿的调试：电容补偿的调试是保证电容补偿正常运行的关键。在调试电容补偿时，需要对电容器的电压、电流、功率因数等参数进行实时监测，并调整电容器的参数以达到最佳补偿效果。超级电容由于额定电压低只有 2.7 伏，通常是串联起来充电，经过实验如果不是很多电容串联均压，十只以内可以不考虑电压均衡的问题。<sup>[9]</sup>科学家发明了一种能储存更多电能、损耗更小的绝缘材料，可用于制造“超级电容”，在可再生能源、电动汽车、国防及航空航天等领域具有很高应用价值。<sup>[10]</sup>

4. 电容补偿的监测：电容补偿的监测是保证电容补偿长期稳定运行的关键。在监测电容补偿时，需要对电力系统的电压、电流、功率因数等参数进行实时监测，及时发现并处理电容补偿存在的问题，以确保电容补偿能够长期稳定运行。

### （二）策略

1. 电压型控制策略：电压型控制策略是通过控制电容器的电压来实现电容补偿。这种策略通常使用一个反馈控制器，将电容器的电压与参考电压进行比较，并通过调整电容器的电压来使电容器的电压与参考电压相等。这种控制策略可以实现快速响应和精确控制，但需要较高的计算和控制复杂度。

2. 电流型控制策略：电流型控制策略是通过控制电容器的电流来实现电容补偿。这种策略通常使用一个比例 - 积分控制器，将电容器的电流与参考电流进行比较，并通过调整电容器的电流来使电容器的电流与参考电流相等。这种控制策略可以实现较快

的响应和较好的稳定性，但需要较高的计算和控制复杂度。

3. 复合型控制策略：复合型控制策略是将电压型和电流型控制策略结合起来，以实现更好的电容补偿效果。这种策略通常使用一个复合反馈控制器，将电容器的电压和电流的反馈信号进行比较，并通过调整电容器的电压和电流来实现电容补偿。这种控制策略可以实现更快的响应和更好的稳定性，但需要更高的计算和控制复杂度。

### （三）基于现代控制理论的电容补偿控制策略步骤

1. 建立状态空间模型：根据电力系统的结构和特性，建立状态空间模型，描述系统的动态行为。

2. 设计控制律：根据状态空间模型，设计控制律，实现对电力系统的稳定性控制和功率因数调整。控制器的设计需要考虑系统的稳定性、响应速度和精度等因素。

3. 实现控制策略：根据设计好的控制律，实现相应的控制策略。这可以通过调节电容补偿的值来实现，从而实现对电力系统的稳定性控制和功率因数调整。

4. 系统仿真和验证：通过对系统进行仿真和实验验证，分析电容补偿对电力系统的影响，并进一步优化控制策略。

## 八、结束语

在本文中，研究了电容补偿对电力系统功率因数及稳定性的影响，并提出了相应的控制策略。通过对电力系统的建模和仿真分析，发现电容补偿能够有效地提高电力系统的功率因数，同时增强系统的稳定性。控制策略能够在保证系统稳定性的前提下，实现对功率因数的优化控制。未来的研究可以进一步探讨电容补偿对不同类型电力系统的效果，以及在不同应用场景下的适用性。同时，针对电容补偿的优化算法和控制策略也可以进行深入研究，以提高电力系统的性能和可靠性。

## 参考文献

- [1] 荣敏. 改造低压电容补偿的过程研究及效益分析 [J]. 山西冶金, 2022, 45(03): 157-158+203.DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1167/tf.2022.03.063.
- [2] 超级电容的充电和应用 [N]. 电子报, 2018-06-17(008).
- [3] 王进金. 某型消磁电源补偿电容故障分析和处理 [J]. 中国修船, 2022, 35(02): 16-18.DOI: 10.13352/j.issn.1001-8328.2022.02.005.
- [4] 胡引平. 电容炭国产化技术实现新突破 [N]. 太原日报, 2022-11-03(002). DOI: 10.28809/n.cnki.ntyrb.2022.002489.
- [5] 李小平. 新能源带火薄膜电容产业链核心原料迎来高光时刻 [N]. 证券时报, 2021-12-15(A04).DOI: 10.38329/n.cnki.nzjsb.2021.005325.
- [6] 曾炜. 具有抗偏移特性的变补偿电容无线电能传输系统研究 [D]. 华南理工大学, 2022.DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2022.001317.
- [7] 刘光晔, 杨以涵. 电力系统电压稳定与功角稳定的统一分析原理 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(13): 135-149.DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2013.13.012.
- [8] 刘重才. 政策力挺元器件发展超级电容成扶持重点 [N]. 上海证券报, 2016-04-13(010).
- [9] 杨玉岗, 李聪. 基于补偿电容的交错并联 LLC 变换器均流特性 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2022, 41(02): 142-151.
- [10] 刘重才. “超级电容”催生钛白粉新机遇环保核查刺激草甘膦小幅反弹 [N]. 上海证券报, 2013-07-02(A07).

# 现代火电厂汽机系统的优化与能效提升

胡昌毅

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：** 本文开篇对火电厂汽机系统的组成、汽轮机工作原理、型号及参数以及汽轮机控制系统进行了详细概述，为后续优化工作提供了基础。进一步地，本文详细分析了汽机系统的优化方法，涉及了优化原理、优化算法、优化目标函数以及优化过程，从而为汽机系统的优化工作提供了理论上的支持和指导。本文总结了汽机系统能效提升的具体措施，包括提高汽轮机效率、余热回收利用、减少泵与风机的功耗以及优化汽轮机启停过程等。这些措施旨在提高汽机系统的热效率，降低能源消耗和污染物排放，实现火电厂的经济性和环保性能的提升。

**关 键 词：** 火电厂；汽机系统；优化；能效；提升；热效率

## Optimization and Energy Efficiency Improvement of Steam Engine System in Modern Thermal Power Plant

Hu Changyi

Yanxi Operation Branch, Guizhou Xidan Electric Power Co., LTD., Zunyi, Guizhou 563108

**Abstract：** At the beginning of this paper, the composition of the steam turbine system, the working principle, model and parameters of the steam turbine and the control system of the steam turbine in the thermal power plant are summarized in detail, which provides the basis for the subsequent optimization work. Further, this paper analyzes the optimization method of the turbine system in detail, involving the optimization principle, optimization algorithm, optimization objective function and optimization process, so as to provide theoretical support and guidance for the optimization work of the turbine system. This paper summarizes the specific measures to improve the energy efficiency of the turbine system, including improving the turbine efficiency, recycling waste heat, reducing the power consumption of the pump and fan, and optimizing the turbine start-stop process. These measures are aimed at improving the thermal efficiency of the turbine system, reducing energy consumption and pollutant emissions, and improving the economic and environmental performance of thermal power plants.

**Keywords：** thermal power plant; steam engine system; optimization; energy efficiency; up; thermal efficiency

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护要求的日益严格，火电厂作为我国电力供应的主要来源，面临着巨大的挑战。汽机系统作为火电厂的核心部分，其运行效率直接影响到整个电厂的经济性和环保性能。近年来，虽然我国火电厂在汽机系统设计、制造和运行方面取得了显著成果，但与发达国家相比，仍存在一定的差距。主要体现在汽机系统的热效率偏低、能源消耗较高、污染物排放量大等方面。这些问题不仅制约了火电厂的经济效益，还对环境造成了沉重负担。因此，研究现代火电厂汽机系统的优化与能效提升具有重要的现实意义。

## 一、现代火电厂汽机系统概述

在现代火电厂中，汽机系统作为电厂的核心部分，承担着将热能转换为机械能，进而通过发电机转换为电能的重要任务。本章将对火电厂汽机系统的组成、工作原理、型号及参数以及控制系统进行详细概述，为后续对汽机系统优化与能效提升的研究提供基础。

### （一）火电厂汽机系统组成

汽机是火力发电厂的主要设备，其状态对火力发电厂的安全和经济运行起着重要作用<sup>[1]</sup>。火电厂汽机系统主要由锅炉、汽轮机、发电机、冷凝器、给水泵等组成。锅炉通过燃烧化石燃料产生高温高压的蒸汽，蒸汽进入汽轮机，推动汽轮机旋转，汽轮机通过传动装置带动发电机发电，发电机产生的电能经过变压器升压后送入电网。冷凝器则将汽轮机排出的低温低压蒸汽冷凝成

水，再通过给水泵送回锅炉，形成一个闭合的循环。

## （二）汽轮机工作原理

汽轮机的基本工作原理从能量转换方面而言，是将机械运行过程中的热能蒸汽运用汽轮机内部喷嘴的膨胀而将其转变为汽流动能。在工作进行时需要内部动叶片将机械能进行转换，从而形成反动式叶片，增加汽轮机内部叶片膨胀的概率，使热能转化成工作所需的机械能带动整套机械的运行<sup>[2]</sup>。随着蒸汽通过各级叶轮，其温度和压力逐渐降低，最终在冷凝器中凝结成水，循环回锅炉重新加热，形成一个闭合的能量转换循环。汽轮机根据蒸汽流动方向的不同，分为冲动式和反动式，分别以不同的方式优化能量转换效率。

## （三）汽轮机型号及参数

汽轮机的型号与参数是汽轮机设计和运行的关键指标。根据蒸汽的压力和温度不同，汽轮机可分为低压、中压、高压直至超高压等多个级别，每种级别都代表着不同的技术要求和工程挑战<sup>[3]</sup>。同时，汽轮机的转速也是区分其型号的重要依据。汽轮机的参数涵盖了蒸汽的压力、温度、流量、转速以及功率等多个维度。这些参数不仅是汽轮机设计和制造的基础，也是评估其运行表现的关键。蒸汽的压力和温度决定了汽轮机的工作强度和热效率，流量的控制影响着汽轮机的负载能力，而转速和功率的匹配则直接关联到汽轮机的输出稳定性和发电能力。

## （四）汽轮机控制系统

汽轮机控制系统是由多个子系统协同工作，包括转速控制系统、负荷控制系统、给水控制系统以及蒸汽温度和压力控制系统等。这些系统共同构成了汽轮机的神经中枢，通过对汽轮机运行状态的实时监控和自动调节，确保汽轮机的最优运行。

转速控制系统负责调节汽轮机的转速，保持其在设定的工作点上运行，以确保发电的稳定性和电网的频率同步。负荷控制系统则根据电网的需求变化，调整汽轮机的输出功率，以实现能源的高效利用和供电质量的保障。给水控制系统负责维持锅炉给水的稳定，确保蒸汽产生过程的连续性和安全性<sup>[4]</sup>。蒸汽温度和压力控制系统则通过对蒸汽参数的精确控制，优化汽轮机的热效率，同时保障设备的安全运行。

# 二、汽机系统优化方法

为了提高火电厂汽机系统的运行效率和能效，对其进行优化是至关重要的。本章将详细介绍汽机系统优化的原理、算法、目标函数以及优化过程，为汽机系统的性能提升提供理论支持和实践指导。

## （一）优化原理

汽机系统优化原理涉及运用科学的方法和技术手段，对汽轮机的运行参数和结构进行精细的改进与调整，旨在提升汽轮机的热效率、可靠性和经济性，进而实现能源的高效利用以及节能减排的目标。

具体而言，这一原理涵盖了流体力学优化，通过改善汽轮机内部的流动通道以降低流动损失和泄漏损失，如优化叶栅设计和

叶片型线；热力学优化，通过调整汽轮机的工作过程来提升热效率，包括优化级数、叶片高度和冷却系统；结构优化，通过改进结构设计来增强汽轮机的可靠性和经济性，例如优化叶片连接方式和轴承设计；以及控制优化，通过提升控制系统的性能来提升汽轮机的自动化水平和运行稳定性，涉及启动、停车和负荷调节过程的优化<sup>[5]</sup>。

## （二）优化算法

汽机系统优化算法是一套应用于汽轮机系统的计算方法，它通过数学建模、仿真分析和智能算法等手段，对汽轮机的运行参数和结构设计进行优化，以达到提升热效率、降低能耗、增强可靠性和经济性的目的<sup>[6]</sup>。这些算法包括但不限于遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法和神经网络等，它们能够有效地处理复杂的优化问题，并在多个方面对汽轮机系统进行优化。

在流体力学方面，优化算法可以帮助改进汽轮机内部的流动通道设计，减少流动损失和泄漏损失，提高汽轮机的运行效率。在热力学方面，算法可以优化汽轮机的工作过程，提高热效率，包括优化级数、叶片高度和冷却系统等。在结构方面，优化算法可以改进汽轮机的结构设计，提高其可靠性和经济性，如优化叶片的连接方式和轴承设计。在控制方面，算法可以优化汽轮机的控制系统，提高自动化水平和运行稳定性，包括优化启动、停车和负荷调节过程等。

## （三）优化目标函数

汽机系统优化目标函数是一个复合的数学表达式，它综合了多个性能指标，旨在量化汽轮机系统优化的目标，以便通过算法寻找到最佳的设计参数和工作条件。该函数通常包含热效率、可靠性、经济性、环境友好性等多个子目标，每个子目标都对应着汽轮机系统的一个关键性能指标。目标函数的构建旨在确保优化过程能够在提升汽轮机整体性能的同时，平衡各个相互制约的因素，以实现最优化的系统运行。

汽机系统优化的目标函数融合了热效率、可靠性、经济性和环保性能等关键指标。热效率目标反映能量转换效率，以绝对或相对效率表示；可靠性目标评价长期运行稳定性与故障率；经济性目标涵盖全生命周期成本，包括投资和运维成本，旨在最大化经济效益；环境友好性目标则关注排放和噪音等环保指标，以符合环保法规<sup>[7]</sup>。这些综合目标函数为汽轮机优化提供了全面评估框架，确保了优化结果的实际效益和效率。

## （四）优化过程

汽机系统的优化过程融合了理论探索与实践验证的双重路径。这一过程始于对汽机系统全面的模拟与测试，旨在准确捕捉当前的性能状态，为后续的优化工作提供实证依据。

继而，在明确优化目标和原理的基础上，构建数学模型与目标函数，这些模型和函数是优化过程的灵魂，它们将复杂的工程问题转化为可量化的数学挑战。接下来，选取适宜的优化算法对参数进行细致的调整，这一步骤是优化过程中的核心，它要求工程师在算法的选择与应用上展现出高超的技艺和深刻的洞察力。

最终，对优化结果进行严谨的验证与分析，确保所提出的优化方案不仅理论上成立，而且在实际操作中可行、有效<sup>[8]</sup>。整个



优化过程要求在理论分析上深入且透彻，同时在实际操作中细致入微，以确保汽机系统在优化后的运行稳定性和可靠性。

### 三、汽机系统能效提升措施

提升汽机系统的能效是火电厂实现节能减排、提高经济效益的关键。本章将探讨一系列具体的能效提升措施，包括提高汽轮机效率、余热回收利用、减少泵与风机的功耗以及优化汽轮机启停过程，旨在为火电厂提供实用的操作指南和技术支持。

#### （一）提高汽轮机效率

提升汽轮机效率是汽机系统能效优化的核心所在，这是一项涉及多方面技术精进的综合性挑战。设计的创新，例如采用更为高效的叶轮叶片设计、减少内部泄漏以及优化蒸汽通道，是提升汽轮机绝热效率的关键措施。这些设计上的改进，不仅需要深厚的理论知识，更需要丰富的工程经验和对细节的极致追求。

此外，工作流体和材料的合理选择，以及汽轮机运行参数——如温度、压力和转速——的精确控制，也是提高汽轮机效率的重要环节。这些参数的优化配置，需要综合考虑材料的物理特性、工作环境的适应性以及整个汽机系统的动态响应，以达到最佳的能量转换效率。

#### （二）余热回收利用

在火电厂的生产过程中，余热回收系统不仅有效地利用了生产过程中产生的余热，还将这些热量重新转化为可用的能源，从而显著提升了整个汽机系统的能源利用率<sup>[9]</sup>。这一过程不仅体现了对能源的充分利用，也是对环境保护和可持续发展的积极响应。

余热回收系统是利用锅炉给水预热器、空气预热器以及热泵等设备，对工业生产过程中产生的余热进行有效利用的节能系统。这些设备凭借其精密的设计和高效的运行机制，将原本可能被废弃的热能转化为可再利用的热能资源，从而显著减少能源消耗，降低电厂的运营成本，实现能源的可持续利用。

#### （三）减少泵与风机的功耗

泵与风机在能量转换过程中发挥着至关重要的作用。然而，泵与风机的功耗也不容忽视，因为它们在能量传递和流体输送过程中消耗了大量的能量。为了提高汽机系统的能效，减少泵与风

机的功耗成了一个重要的优化方向。

通过采用高效节能的泵与风机，并优化设备的选型和运行方式，可以显著降低功耗<sup>[10]</sup>。这种优化不仅涉及设备本身的技术改进，还包括了对系统运行参数的调整，以实现流体流动特性的优化，从而降低泵与风机的能耗。

此外，通过改进流体的流动特性，减少管道阻力，也能有效降低泵与风机的能耗。这种优化不仅涉及流体动力学的理论分析，还包括了对实际运行条件的细致考量。通过这种方式，泵与风机的能耗可以得到有效地控制，从而提升整个汽机系统的能效。

#### （四）优化汽轮机启停过程

汽轮机的启停过程是火电厂中的一个关键环节，其能耗水平相对较高。因此，优化汽轮机的启停策略对于提高整个汽机系统的能效具有重要意义。通过运用先进的控制系统和制定合理的操作程序，可以实现汽轮机的平稳启停，从而减少能源消耗和机械磨损，提升系统的运行效率和稳定性。

优化汽轮机启停过程不仅涉及技术层面的改进，还包括了对运行管理的优化。通过预测负荷变化，合理安排汽轮机的启停时间，可以实现能源的高效利用，进一步提升汽机系统的整体能效。这种策略的实施，有助于火电厂在满足电力需求的同时，降低能源消耗和环境影响，实现经济效益和环境效益的双赢。

### 四、结束语

本文旨在为火电厂汽机系统的优化与能效提升提供实践指导与理论支持，并且为相关领域的研究者和工程师开辟新的思考路径和方法。尽管本文在汽机系统优化和能效提升方面有了一定的深入研究，但仍有许多潜在的优化空间和挑战需要进一步探索。未来的研究可以聚焦于智能化控制技术在汽机系统中的应用，以及新型材料和技术在汽轮机制造中的集成，以实现更高效、更环保的火电生产。

总而言之，希望本文的研究成果能够激发更多研究者对火电厂汽机系统优化与能效提升领域的兴趣，共同推动我国火电行业的可持续发展和技术进步。

### 参考文献

- [1] 肖从付. 火力发电厂汽机常见问题及应对策略 [J]. 光源与照明, 2021, (07): 77-78.
- [2] 宋剑. 汽轮机运行中的节能技术研究 [J]. 应用能源技术, 2022, (04): 29-31.
- [3] 邱磊. 火电厂汽机锅炉 DCS 控制系统异常应急维护方法 [J]. 设备管理与维修, 2023, (20): 86-87.DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.10D.36.
- [4] 李毅, 张文斌, 程磊. 火电厂甩负荷未进入 FCB 主要电气设备运行分析探讨 [J]. 电工技术, 2022, (05): 172-174.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.05.046.
- [5] 朱树基. 试论火电厂汽机运行中常见问题及解决措施 [C] // 江西省电机工程学会. 2020 年江西省电机工程学会年会论文集. 大唐国际抚州发电有限责任公司; 2021: 2. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2021.000235.
- [6] 孙亦鹏, 曹红加, 白秀春, 等. 火电厂烟气余热利用系统改造经济性分析 [J]. 热能动力工程, 2019, 34(11): 140-145.DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2019.11.021.
- [7] 胡为杰. 试论火电厂汽机运行中常见问题及解决措施 [J]. 科技资讯, 2019, 17(02): 74-75.DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2019.02.074.
- [8] 李占京. 浅析火电厂汽机运行过程中的问题及应对措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2018, (18): 3.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201818003.
- [9] 丁俊宏, 丁宁, 苏烨, 等. 浙江省火电厂典型热控故障异常分析与建议 [C] // 浙江省电力学会, 上海市电机工程学会, 江苏省电机工程学会, 安徽省电机工程学会. 浙江省电力学会 2016 年度优秀论文集. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 2016: 8.
- [10] 司元林, 张少丽. 火电厂数据采集与处理系统的构建与实施 [C] // 战略风险管控与安全生产运行管理——2015 全国电力行业企业管理创新论文大赛获奖论文. 华电宁夏灵武发电有限公司, 2015: 2.



# 电力系统的可靠性分析与提升措施研究

赵栋

新疆阳光供电服务有限公司吐鲁番分公司，新疆 吐鲁番 838000

**摘 要：** 电力系统可靠性的提升对于我国的经济发展起到了非常重要的作用，我国是世界上最大的电力消费国，其中，电力系统可靠性也是一个非常重要的指标。对电力系统进行可靠性分析，可以有效地了解到当前电力系统的运行状态和发展趋势，从而对未来的电网规划和电力调度起到指导作用。我国目前使用了很多先进的技术和手段对电力系统进行优化，但是仍然存在着很多问题，这些问题是影响我国电力系统可靠性的重要因素。为了有效地提升电力系统的可靠性，要对影响电力系统可靠性的因素进行全面分析，从而提出针对性的解决措施，提升我国的电力系统可靠性。

**关 键 词：** 电力系统；可靠性分析；提升措施；研究

## Reliability Analysis of Power System and Research on Improvement Measures

Zhao Dong

Turpan Branch of Xinjiang Sunshine Power Supply Service Co., Ltd., Turpan, Xinjiang 838000

**Abstract：** The improvement of power system reliability plays a very important role in China's economic development, China is the world's largest electricity consumer, and the reliability of power system is also a very important indicator. The reliability analysis of the power system can effectively understand the current operation status and development trend of the power system, so as to guide the future power grid planning and power dispatching. At present, China uses a lot of advanced technologies and means to optimize the power system, but there are still many problems, which are important factors affecting the reliability of China's power system. In order to effectively improve the reliability of the power system, it is necessary to conduct a comprehensive analysis of the factors affecting the reliability of the power system, so as to put forward targeted solutions to improve the reliability of the power system in China.

**Keywords：** power system; reliability analysis; improvement measures; analysis

## 引言

电力系统是社会发展的基础，电力系统的稳定运行和持续供电是保障社会生产、生活正常运转的重要前提。随着我国社会经济的不断发展，人们对电力的需求也越来越大。然而，在当前电力系统运行中，仍存在着较多的问题，严重影响了电力系统运行的稳定性和可靠性。

## 一、电力系统的可靠性分析与提升措施研究的必要性

### （一）电力系统运行中存在的安全隐患

现阶段，我国经济发展速度非常快，电力需求不断增加，因此在电网建设方面投入了大量的资金。然而，在实际运行过程中却存在着很多问题，其中就包括电力系统不可靠以及设备老化等问题。这些问题对整个社会的可持续发展造成了严重影响，所以必须采取合理措施进行解决。首先，应该加强对电力系统的监督

管理，防止出现事故，这样才能够降低人员伤亡概率。其次，还需要提升电力系统的可靠性，确保电网系统安全稳定运行。最后，应该定期检修维护，及时排除安全隐患，为社会提供更优质的供电服务<sup>[1]</sup>。

### （二）对电力系统进行管理的有效方式

电力系统作为电力工业的心脏和大脑，它不仅是支撑着整个社会日常运作不可或缺的核心组成部分，而且在推动国家经济繁荣、促进技术创新、优化能源结构等多个关键领域中扮演着至关

重要的角色。无论是保障居民的基本生活需求，还是支持企业的生产活动，亦或是推动产业升级和环境保护，电力系统都展现出其无可替代的重要性。为了使我国能够实现现代化建设目标，必须对电力系统采取科学有效的管理措施，保证其可以为人们提供充足、可靠的电能资源，为社会生产活动提供更多支持。因此，需要加强对我国电力系统的研究，建立完善的电力系统管理体系，以促进电力系统可以不断发展与进步<sup>[2]</sup>。

### （三）社会经济发展的必然要求

在当今时代，伴随着社会的蓬勃发展，经济实力不断增强，人们对电能的需求日益增长。这一趋势不仅体现了人们对生活质量的追求，也反映出电力供应必须保持高效和稳定。因此，电力系统的稳定性与可靠性已成为一个不容忽视的重要议题，它直接关系到社会经济发展的效率和安全<sup>[3]</sup>。为了满足这种需求，电力部门需要不断地提升技术水平，优化系统设计，以确保电力供应能够及时、可靠且持续地为社会各个角落提供必要的动力支持。由于在实际应用中，很多地区的电网都存在着较多薄弱环节，导致电能输送过程中会出现较多问题，影响供电质量和服务水平，不能满足人们生产、生活需要。为了提高供电可靠性，相关部门应做好分析工作，及时发现问题并解决，同时采取有效措施提升电力系统可靠性，为经济建设提供坚实保障<sup>[4]</sup>。

### （四）能源结构变化的客观要求

随着社会经济的发展，电力行业也在不断地进步。为了满足人们对电能的需求，更好地服务于人们，电力系统进行了一系列改革和创新。但是就目前的情况来看，我国还存在着能源分布不均等问题。由于我国地域辽阔，因此导致各个地区的能源结构不尽相同。一些地方因为受到自然条件的限制，可能会出现缺乏清洁能源的现象。而且现阶段我国正在积极推进节能减排工作，所以必须对能源结构进行优化，尽可能地减少碳排放量，这样才能确保可持续发展目标的顺利实现。如果将清洁能源引入到电力系统中，那么不仅能够提高系统的可靠性，还能够促进经济与社会共同进步<sup>[5]</sup>。

### （五）满足人们用电需求的必然要求

随着经济的发展，人们对电力的需求也逐渐提高。同时，人民群众生活水平的不断提升，家用电器的种类和数量也在逐渐增加，这就导致了电力负荷的持续增长。但是我国的发电技术还处于比较落后的阶段，所以需要加大力度开发新能源发电技术，进一步增加电网中可利用的电能，从而满足人们日益增长的用电需求<sup>[6]</sup>。

综上所述，电力系统可靠性问题已经成为影响社会发展与进步的必然因素，相关工作人员要高度重视，积极开展可靠性分析研究，并采取有效措施保证电力系统的可靠性。

## 二、电力系统的可靠性分析与提升措施研究的存在问题

### （一）技术应用方面

在电力系统可靠性分析的过程中，对相关技术的应用较为有

限。由于国内电力企业大多都是采用传统的监测方法进行工作，所以在对系统进行管理和运行的时候存在着较大的局限性，很难将先进的管理理念融入其中。虽然部分单位已经引进了现代化的信息系统，但是在实际应用过程中依然面临着很多问题，比如数据不准确、效率低下等。与此同时，一些新能源发电项目在建设时，没有考虑到原有设备的可利用性，造成了资源的浪费<sup>[7]</sup>。

### （二）网络规划方面

目前在电力系统可靠性的网络规划方面，存在着以下两个问题：（1）很多电网规划人员都认为，随着经济发展速度的加快以及人民生活水平的不断提高，电力需求也将会不断提升，但这一观念是错误的。因为这种想法忽视了气候变化所带来的影响，如果没有对未来气候进行充分的考虑和分析，就会导致发电设备超负荷运转，进而引发系统崩溃等严重后果<sup>[8]</sup>。（2）另外一方面，为了保证电力系统的安全性，需要加大对输电线路的投资力度，从而达到降低短路电流的目的。但是由于一些地区地形较为复杂，无法修建架空输电线路，只能采用电缆线路，这样一来就会造成线路损耗过高的现象。因此，为了降低电能损耗，还应该采取相关措施，最大限度地减少线路损耗。

### （三）评估标准方面

目前我国的电力系统可靠性评估标准仍在不断完善过程中，存在诸多不足。由于我国电力行业发展相对滞后于西方发达国家，对国外一些先进标准的引进及应用不够深入，也导致了国内的一些标准制定工作难以达到国际先进水平。而且当前的电力系统可靠性评估指标体系与评价方法都处于探索阶段，缺乏系统、规范的研究。尽管各个学者都在对其进行积极的研究和探讨，但整体来看，仍未形成统一的标准体系，需要进一步提高可靠性评估技术和方法的科学性和合理性<sup>[9]</sup>。

### （四）系统结构方面

目前，我国电力系统结构设计主要包括两种类型：一是厂站集中式结构，二是线路汇集式结构。但是在这两种系统结构下均存在一定的问题，例如，由于网络的不确定性，当出现故障时会使整个系统遭受巨大冲击；并且由于线路上各元件的配置和安装不一样，造成线路的损耗也不同，从而影响系统的运行。另外，如果厂站或者线路发生故障，那么整个系统就会发生瓦解。因此，为了提高系统的可靠性，应该将现有的厂站与线路相结合，进而建立新型的电力系统结构<sup>[10]</sup>。

### （五）设备配置方面

在电力系统中，所配置的设备对系统的可靠性影响较大，虽然在一定程度上可以提高系统的稳定性，但也会因为各种原因导致系统运行不稳定。例如：变电站在进行设备安装时，其位置、线路以及变压器等都应该按照可靠性要求来设计，这样才能确保各个设备之间的相互协调配合。但是实际情况是，很多施工人员只注重经济效益而忽视了对可靠性的考虑，在一些设备的安装和布置过程中出现问题，这就很容易导致电力系统发生故障。另外，当设备损坏后，相关工作人员没有及时进行处理，致使故障没有得到有效解决，进而使整个电力系统运行质量下降。

### 三、电力系统的可靠性分析与提升措施研究的策略

#### （一）加强对可靠性管理的重视

要想在电力系统中提高可靠性，首先就是要加强对可靠性管理的重视。虽然从表面上来看，可靠性管理只是一项简单的工作，但是在实际的工作过程中却并不容易。由于电力设备的不断增多，所以使整个系统的管理变得越来越复杂，而这也使得我们很难保证每一台电力设备都能得到有效的利用，如果不能保证整个系统的可靠性，那么必然会对整个社会产生巨大的影响。因此，在进行电力系统运行的时候一定要选择一些高质量的技术人员，同时还要不断加强自身对于相关知识的学习，这样才能够在保证系统运行安全和稳定的前提下，进一步提高整个电力系统的可靠性。

#### （二）不断优化设备性能

电力系统要想达到良好的可靠性，需要对系统中的设备进行不断的优化和改进。随着科学技术的不断发展，各种先进技术被广泛应用到电力企业之中，如云计算、物联网等，这些新技术不仅为电力企业的发展提供了有力支持，也促进了我国电力系统的可持续健康发展。此外，进一步地，我们可以借助尖端的科技手段，深入挖掘设备运作时产生的各项参数。通过精密的检测技术对这些数据进行细致分析，我们能够敏锐地识别出那些潜在的问题和隐患。一旦发现异常，便能迅速而有效地制定对策，及时解决问题，确保电力系统始终处于最佳状态，保障电网的稳定性与可靠性，为社会经济的发展提供坚实的能源支持。这样不仅能够提高电能利用效率，减少不必要的电力损失，还能降低维护成本，提升整个电力系统的综合效益。

#### （三）做好系统的检修工作

在电力系统运行中，为保证系统可靠性，需要加强检修工作。首先，要明确检修目标和范围，结合实际情况选择合理的检修方法，如对变压器进行检修时，应尽量采用绝缘电阻测量的方法，以提高检修效率。其次，要及时对损坏部件进行更换，并对存在缺陷的部件进行维护处理，以减少故障发生概率。最后，要

重视人员培训，提升操作人员专业技能水平，促使其能够正确判断故障原因，从而缩短故障排除时间，提高系统的可靠性。

#### （四）优化运行管理模式

电力系统可靠性的提高，需要从根本上优化运行管理模式。一方面，电力企业应该按照现代企业管理体系要求进行运行管理，以有效降低运行风险。另一方面，应该加大对高科技、新技术的应用力度，提升电力系统的智能化水平，实现设备自动化、信息化运行，确保电力系统在运行过程中更加安全稳定。此外，还要加强对运行人员的培训工作，进一步提高他们的综合素质和业务能力，为电力系统可靠性提供强有力的人力保障。

#### （五）做好事故的预防工作

在电力系统的运转过程中，一旦出现事故，必须迅速采取措施予以应对。这样做的目的是为了尽可能地减少由事故造成的损失，确保电网的稳定运行和用户的安全。及时有效的处理可以防止事态恶化，同时也为恢复正常供电争取了宝贵的时间。同时还要加强对电力系统的管理工作，定期对系统进行检修维护，将隐患扼杀在摇篮之中。除此之外，还需要进一步增加对电力设备的投资力度，积极引入国内外的先进技术与创新设备，不断提高设备的稳定性和可靠性。通过这样的方式，我们可以有效地提升电力系统的整体性能，确保其在各种复杂环境下都能保持高效、稳定的运行状态，从而大大提高电力系统服务的质量和效率，让电力供应更加可靠、安全，满足日益增长的社会需求。

### 四、结语

随着经济的快速发展，电力需求越来越大，电网的安全运行已经成为供电企业的一项重要任务。电网安全运行对电力企业发展具有重要作用，影响着电力系统的可靠性。近年来，由于自然灾害和人为因素导致的停电事故频繁发生，导致供电企业经营受到影响。因此，加强电力系统的可靠性分析对保障供电企业安全运行具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 禹海峰, 潘力强, 吴亚茹, 等. 储能提升含高比例风电电力系统可靠性分析 [J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(06): 92-98.
- [2] 邝湘吉. 智能变电站继电保护系统可靠性分析 [J]. 中国高新技术企业, 2017, (10): 206-207.
- [3] 闫峰, 李晓龙. 继电保护系统的可靠性分析及在电网中的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2013, (30): 106.
- [4] 嵇涛; 姚炎宏; 黄鲜; 诸云强; 邓社军; 于世军; 廖华军. 城市交通韧性研究进展及未来发展趋势 [J]. 地理科学进展, 2023(05): 1012-1024.
- [5] 王晗; 侯恺; 余晓丹; 贾宏杰. 计及地震灾害不确定性的电气互联系统韧性评估与提升方法 [J]. 中国电机工程学报, 2022(03): 853-864.
- [6] 唐云; 朱旺; 薛志航; 谢强.  $\pm 1200\text{kV}$  特高压直流穿墙套管抗震性能分析 [J]. 高压电器, 2022(08): 41-49.
- [7] 米志同. 发电厂继电保护可靠性的影响因素探析 [J]. 中国设备工程, 2023(02): 160-162.
- [8] 黄格超; 李更丰; 肖遥; 别朝红; 孙思源. 综合考虑自然灾害与人为攻击的电-气互联系统优化配置方法 [J]. 电网技术, 2021(03): 959-970.
- [9] 乐健; 蔡淦; 赵联港; 廖小兵. 主动配电网分布式经济调度系统的时延稳定性分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2022(21): 75-87.
- [10] 刘经纬; 康海鹏; 颜文婷; 陈钊; 李长城. 极端灾害下的电力系统预防-紧急协调调度 [J]. 电力自动化设备, 2023(08): 202-209.

# 电站触发发变组保护故障报警的分析研究

王森

大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518124

**摘 要 :** 国内某电站某年度在主控制室触发了 GPA010KA 发电机变压器组保护故障综合报警, 因引发该报警的可能原因多且在一定情况下查找也比较困难, 因此本文从故障原因的分析, 到对故障的查找进行研究, 逐一分析排除确认, 提供查找思路及验证方法, 同时给出相应预案。现对整个分析处理过程进行梳理, 以对今后的运行过程产生指导意见。

**关 键 词 :** 发变组; 保护故障; 原因分析; 验证方法; 缓解措施

## Analysis and Research on Triggering Generator-Transformer Unit Protection Fault Alarm in Power Station

Wang Sen

Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

**Abstract :** A domestic power station triggered a comprehensive alarm of the protection fault of the GPA010KA generator transformer group in the main control room in a certain year, because there are many possible reasons for the alarm and it is difficult to find it under certain circumstances, so this paper studies the fault cause from the analysis of the fault cause to the fault finding, analyzes and eliminates the confirmation one by one, provides the search ideas and verification methods, and gives the corresponding plan. The entire analysis and processing process is sorted out to provide guidance for the future operation process.

**Keywords :** transformation group; protection failure; cause analysis; verification method; mitigation measures

### 引言

随着电力系统的快速发展和复杂性的增加, 确保电网的稳定性和可靠性成为工程师和研究人员的首要任务之一。电站作为电力系统的重要组成部分, 其稳定性直接关系到整个电网的安全运行。在众多影响电站稳定运行的因素中, 发变组的保护尤为重要。因此, 研究和设计高效、可靠的发变组保护方案, 以及快速的故障排除原因及维修处理, 不仅可以提高发电站的运行效率, 还可以确保电网的安全稳定。本论文旨在探讨发变组保护的故障原因分析方法, 期望能够为电站提供一些处理套路<sup>[1]</sup>。

### 一、基本结构

大型发电机组是现代电力系统最重要的组成部分之一, 它造价昂贵, 结构复杂, 一旦故障, 检修期长, 同时造成巨大的经济损失。因此发电机组应该配置完整的主保护和后备保护, 在故障和异常运行工况下, 对机组和电网进行保护。

设置发变组保护系统 (GPA) 的作用是一旦在该系统的主设备提供保护范围内发生电气或机械故障时, 对本系统, 以最短时间消除故障, 或把故障的部分从整个系统中隔离开来, 使损害减至最小, 以确保电站和电力系统的安全运行。

发变组保护系统 (GPA) 保护配置的双重化。由于发变组保护系统的重要性, 为防止保护系统自身发生任何单一故障而不能正确响应系统的故障行为, 出现抖动造成危害, 所以有必要采取

双重设置措施, 以确保发电机 / 变压器组继电保护系统工作的可靠性。发变组保护系统 (GPA) 对每个被保护设备配置两套完全相同的电气量微机保护, 两套保护的电源和控制电源都是由 125V 直流双路电源 A 和电源 B 构成, 两路电源可以切换投入。两套保护的电流互感器 CT 回路和电压互感器 PT 回路完全独立, 两套保护的出口跳闸回路完全独立。然而变压器的非电量保护单套配置<sup>[2-3]</sup>。

发变组保护系统 (GPA) 的保护范围: 1) 发电机定子、转子; 2) 主变压器 (简称主变)、降压变压器 A 和降压变压器 B (简称降压变)、励磁变压器 (简称励磁变); 3) 发电机出口封闭母线; 4) 部分主变压器高压侧母线 (主变高压侧出线端到主变差动保护主变高压侧 CT 之间)。

该电站发变组保护系统 (GPA) 采用的是国外某公司生产的

作者简介: 王森 (1985.4-), 男, 汉, 辽宁省盖州市, 大亚湾核电运营管理有限公司, 工程师, 大学本科, 研究方向: 核电运行。



UR 微机型综合保护装置。该系列保护具有通用的用户界面，硬件采用模块化设计，可组合的输入/输出（I/O）结构和快速的网络能力，可在统一模块化平台上通过不同的组件构成不同的保护功能。其在运行中可以实时采集和显示发电机、变压器和系统的电压、电流、功率、系统频率等实时参数，还可以显示不平衡差动电流，发电机中性点的三次谐波量等数值。当发电机或变压器等主设备发生故障时，继电器的液晶屏上及面板信号灯可以显示保护动作。

其主要特点为：（1）高速的采样性能。UR 系列保护的采样速率为每周波 64 点，其故障录波也是同样高的采样速率。（2）快速动作与可靠性。UR 系列采用了快速采样和小矢量算法，动作速度快且可靠。（3）逻辑编程的灵活性。UR 系列保护具有 Flexlogic 灵活的可编程技术，用户可以按照现场需要进行逻辑修改 Flexelement 灵活的用户生成保护元件，用户可以现场方便地创造新的保护动作元件。用户可编程的信号灯，除保护设定的信号灯外，用户还可编程增加 48 个信号灯。（4）可扩展性。UR 系列保护继电器采用模块化结构设计，相关保护均采用统一的硬件模块，不同保护的相同硬件模块可以互相替代。因此，用户只需要备有 1 套模块即可满足不同保护的备件需要。（5）通信及事故记录功能强大。UR 系列保护可以直接连接 10M/100M 以太网，TCP/IP 通信。记录器可储存最新的 1024 个 SOE 事件，不同的 UR 保护均采用统一的软件操作<sup>[4-5]</sup>。

## 二、事件背景

通过上述对该设备的介绍可知，目前该设备的集成和自动化程度已经非常高。然而，在国内某电站前些年，经常出现一些电气相关的报警，因运行相关人员对电气相关知识了解甚少，且报警时间短同时能够获得的信息较少，因此在一定程度上对该故障快速定位及分析带来了一定的挑战。本次以机组上触发的报警作为案例进行分析及研究。

主控制室出现 GPA010KA（报警编码）发电机变压器组（简称发变组）保护故障报警，报警持续 1 分钟后消失，主控制室监视机组有功、无功、电压、电流、频率均无异常。立即召集电站现场专业人员就地检查 GPA005AR 就地控制柜内 C30 非电量保护装置无报警信号，读取装置内部事件记录，发现 C30 非电量保护装置在报警时刻出现两个异常报文：POWER OFF 和 POWER ON 持续时间约 1 分 7 秒，与主控制室报警持续时间基本吻合<sup>[6]</sup>。

过了大约两个月左右时间，主控制室再次闪发 GPA010KA，每次持续约 1min。本次值班员调取趋势曲线，发现 GPA302XK（非电气保护故障 1）触发导致报警出现。通过两次能够获取的极少的信息，对该问题进行分析研究<sup>[7]</sup>。

## 三、工作原理

发变组在运行过程中，如果保护装置发生故障，经前文介绍该设备的自动化程度非常高，发变组单元保护装置本身会自动诊

断，系统即可检测保护装置的故障信号，并把故障信号发送到主控制室操作站中。所以当现场的 GPA 控制柜 GPA001-005AR 出现故障时，主控即会出现 GPA010KA。

## 四、分析验证过程

GPA010KA 报警出现的原因可能有以下几个原因，我们下面逐个分析研究排查。

1. 如果是单纯的保护故障，包括发电机保护故障 1、发电机保护故障 2、主变压器保护故障 1、主变压器保护故障 2、降压变压器 A 保护故障 1、降压变压器 A 保护故障 2、降压变压器 B 保护故障 1、降压变压器 B 保护故障 2、励磁变压器保护故障 1、非电气保护故障 1，其中任何一个故障出现，主控制室工作站中均会触发 GPA010KA，但关键的一点信息就是，除了非电气保护故障 1 外的其他保护故障另外都会有相对应的报警出现。但当时出现的仅有 GPA010KA，所以大范围上基本能够排除其他保护故障<sup>[8]</sup>。

2. 非电气保护故障 1 报警，GPA302XK 会相应的动作（见图 1），可以在主控制室调取相应的趋势曲线进行确认，且如果是非电气保护故障所触发的 GPA010KA，则只会单独触发该报警，因此捕捉该信息对于故障原因的分析十分重要。所以初步可以锁定为非电气保护故障所触发的该报警，正如前文所述，然而恰恰是非电量保护仅设置一套保护装置，而且如果故障还会引发一系列动作，且后果也很严重。因此我们要特别重视，同时要清楚都会引发哪些动作：

GPA 系统有以下出口方式：

- 全停 I：断开高压侧 500KV 两个断路器、断开发电机出口断路器、断开两个降压变低压侧分支断路器、灭磁、关闭主汽门、FR/KIC（启动故障录波和报警）
- 全停 II：断开发电机出口断路器、灭磁、关闭主汽门、启动发电机出口断路器失灵保护、FR/KIC
- 程序跳闸：先关闭主汽门，等待逆功率继电器动作后，再断开发电机出口断路器并灭磁、FR/KIC
- 灭磁、关闭主汽门：跳灭磁开关、关闭主汽门、FR/KIC
- 跳 500KV 断路器：断开高压侧 500KV 两个断路器、FR/KIC
- 降压变分支跳闸：跳开降压变低压侧分支断路器、FR/KIC
- 降压变过负荷：闭锁降压变有载调压
- 启动变压器通风、FR/KIC

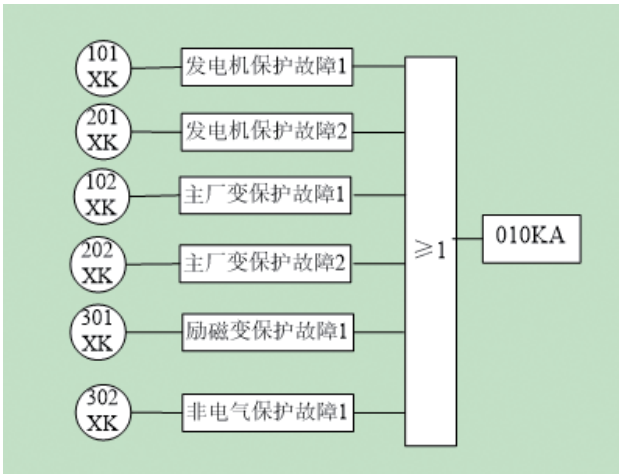
然而一套非电量保护柜配置动作后果也很严重，根据不同的故障类型其后果主要有：全停是指全停 1（不启动失灵）、发信、程序跳闸（发电机转子一点接地故障）、逻辑出口—信号送发电机保护装置（发电机 LBA 直流失压）、跳 500KV 断路器（主冷却剂泵转速低）。

下面对非电气保护故障的几种可能原因进行分析：非电气保护故障主要分为两大部分，即硬件故障和软件故障<sup>[9]</sup>。

硬件故障的几种可能：a）失电：就地控制屏黑屏，而现场检查 GPA001-005AR 控制电源及显示均无故障，通过现场检查，

所以可排除此种情况；b）重启：由于重启时间较短，所以当现场进行确认时，电源及控制屏显示很可能会恢复正常，此种可能性较大；c）卡件故障（包括 CPU 板卡故障、输入 / 输出卡故障、电源卡故障），由于出现卡件故障，GPA001-005AR 上的装置故障指示灯正常情况下会跟随点亮，由于现场检查控制面板均正常，所以可排除此种情况。

软件故障的几种可能：a）软件死机：如果发生软件死机，则现场控制屏会出现冻结现象，而当时现场检查无异常，所以排除此原因；b）软件运行异常：此时现场控制屏会出现乱码、屏幕显示故障等明显现象，且装置故障指示灯正常情况下会跟随点亮，由于现场检查控制面板均正常，所以可排除此原因。



> 图 1：发变组保护故障综合报警逻辑简图

## 五、初步结论

通过分析，可以初步锁定此次触发 GPA010KA 电气报警的原因为 GPA 保护装置重启所致。而导致重启的原因很多，比如说电源模块故障导致的重启、信号干扰导致的重启、非电量保护柜内

电源空开及外部接线故障导致的重启等，此时需要进行控制屏操作锁定具体故障，如本次现场人员检查出现的异常报文 POWER OFF 和 POWER ON（如下图 2），且出现时间与主控制室报警时间基本吻合，同时检查电源空开及外部接线均正常，所以可初步判断为电源模块故障所导致的报警<sup>[10]</sup>。

Event Number	Date/Time	
7495	20:01:58.970311	DL 打开 On
7495	20:01:58.968785	LBA 失压非 ≥1 On
7494	20:01:54.056009	POWER ON
7493	20:01:14.056009	POWER OFF
7492	20:01:14.056009	POWER ON
7491	20:00:35.464778	POWER OFF

> 图 2：发变组保护就地机柜异常报文

## 六、建议行动

如果确实为信号干扰导致的重启，则要求电气、通信专业人员进行干扰信号屏蔽处理，并在处理前 / 处理后进行比对持续跟踪。

如果再次出现 GPA010KA，在周围设置隔离区确认无干扰的情况下，则说明电源模块故障，经电站各专业决策需要更换非电量保护装置 C30 电源模块，更换时则需退出相关保护信号。

## 七、结语

本文通过结合报警出现的原因分析，结合在现场控制柜中和主控制室能够获取的信息，以及结合电气专业知识，对异常报警的出现原因进行了分析，并编写了风险预案。由于能力有限，其结论和部分方法还需要专业讨论并进一步完善，仅提供方法论参考借鉴。

## 参考文献

- [1]CPR1000 系统与设备 [M]. 培训中心, 2013.
- [2]CPR1000 核电厂运行教程 [M]. DNMC.2018.
- [3] 电气设备运行 [M]. 中国电力出版社. 1997.
- [4] 电力系统继电保护原理及新技术 [M]. 中国电力出版社. 2017.
- [5] 电力系统继电保护原理 [M]. 中国电力出版社. 2010.
- [6] 新型电力系统继电保护 [M]. 清华大学出版社. 2024.
- [7] 现代电力系统保护 [M]. 清华大学出版社. 2023.
- [8] 姜坤. 3/2 接线方式下短引线与发变组保护在发电厂中的应用与思考 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08):292-294.
- [9] 柴勇权, 兰蕾. 发电厂发变组保护原理与调试技术分析 [J]. 科技资讯, 2023, 21(24):79-81.
- [10] 余松; 曹雄; 童志祥; 陈松松. 一起发电机保护装置闭锁的处理与思考 [J]. 水电与新能源, 2022(09): 33-35.

# 智能电网中的大数据分析与应用： 提升电力系统自动化水平

于勤勤

国网山东省电力公司栖霞市供电公司，山东 烟台 265300

**摘 要：** 本文重点阐述了大数据技术在提升智能电网自动化水平中的关键作用。通过分析电力系统运行监测、负荷预测与管理、设备状态监测与故障诊断等应用场景，文章展示了大数据如何助力电网实现高效、安全、清洁的运行。同时，文章强调了自适应控制技术、人工智能与机器学习、网络通信技术等关键技术对提升电力系统自动化水平的重要性，并展望了未来智能电网与大数据技术融合的广阔前景。

**关 键 词：** 智能电网；大数据分析；自动化；能源管理；电力系统

## Big Data Analytics and Applications in Smart Grids: Improving Power System Automation

Yu Qinqin

Qixia Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Yantai, Shandong 265300

**Abstract：** This paper focuses on the key role of big data technology in improving the automation level of smart grid. By analyzing the application scenarios of power system operation monitoring, load forecasting and management, equipment condition monitoring, and fault diagnosis, the paper shows how big data can help power grids achieve efficient, safe, and clean operation. At the same time, the paper emphasizes the importance of adaptive control technology, artificial intelligence and machine learning, network communication technology and other key technologies to improve the automation level of power system, and looks forward to the broad prospects of the integration of smart grid and big data technology in the future.

**Keywords：** smart grid; big data analysis; automation; energy management; electric power system

## 引言

随着我国经济的快速发展，电力需求不断增长，电网规模日益扩大，电力系统日益复杂。智能电网作为新一代电力系统，融合了先进的信息技术、通信技术、控制技术及现代电力电子技术，为电力系统的安全、高效、清洁运行提供了有力保障。大数据作为当今时代的重要战略资源，其在智能电网中的应用日益受到关注。智能电网的核心目标是实现电力系统的可靠、经济、环保和互动。在这个过程中，大数据分析技术发挥着至关重要的作用。电力系统在运行过程中产生了海量的数据，包括实时监测数据、设备参数、用户用电信息等。如何挖掘这些数据的价值，提高电力系统的自动化水平，已成为电力行业面临的重要课题。

## 一、智能电网的定义与发展

智能电网，又称现代化电网，是指利用先进的信息技术、通信技术、控制技术、物联网技术等，实现电力系统的可靠、高效、清洁、互动和安全运行的电力网络。智能电网的发展是电力行业为适应能源结构转型、满足用户需求多样化、提高电力系统运行效率和质量而进行的必然选择。其核心在于集成创新，通过整合各类资源，实现电力系统的优化配置和高效运行。近年来，我国电力产业蓬勃发展，智能电网、电力大数据等全新概念被相继提出。通过大数据技术来构建大数据平台，打造完全自动化、

高效控制全部电网节点、信息数据在各个节点间双向流通的电力传输网络体系，彻底改变原有的电网建设模式<sup>[1]</sup>。

## 二、智能电网中的大数据分析技术

在信息化与智能化浪潮的推动下，智能电网已成为电力系统转型升级的关键，而大数据分析技术则是其核心支撑。作为一种综合技术，大数据技术通过采集、存储、处理、分析和挖掘海量数据，从中提取有价值信息，其特点表现为“4V”：大量（Volume）、高速（Velocity）、多样（Variety）和真实性



(Veracity)。在智能电网中,大数据技术的应用不仅处理了庞大的电网数据,更为系统的稳定运行、能效提升和风险管理提供了科学的决策支持,从而推动了电力行业的创新发展。

### (一) 数据采集与预处理

在智能电网的运行中,数据采集覆盖了众多设备和技术的应用,如智能电表、传感器、遥测系统等。这些设备实时监控电网的各个状态,记录下电压、电流、频率、温度等重要参数。但是,由于数据来源众多,数据质量也不尽相同,因此在深入分析之前,需要对数据进行一系列预处理。这包括清洗数据以去除无效信息,对数据进行标准化和归一化处理以统一量纲,以及处理异常值以保障数据的准确性和统一性,从而为后续的分析工作打下坚实的基础。

### (二) 数据存储与管理

智能电网产生的数据量巨大,且类型多样,包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。为了高效地存储和管理这些数据,需要采用分布式数据库、云存储和大数据平台等技术,这些技术能够提供高吞吐量、低延迟的数据读写能力,同时保证数据的安全性和可靠性<sup>[2]</sup>。此外,数据管理还包括元数据管理、数据索引、数据备份和恢复等,以确保数据的长期可用性。

### (三) 数据挖掘与分析方法

在智能电网领域,数据挖掘技术扮演着至关重要的角色,它通过一系列方法从大量数据中提炼出有用的信息。这些方法包括关联规则挖掘、聚类分析、分类分析以及时间序列分析等。关联规则挖掘技术能够揭示数据之间的潜在联系,例如,它可以识别出哪些电力消费模式经常一起出现,从而帮助电力公司更好地理解用户的用电习惯。聚类分析则用于将相似的数据点分组,以便于发现电力系统中的不同用户群体或设备类型,这对于制定个性化的电力服务策略非常有用。

分类分析技术能够根据历史数据将新的数据点分配到预定义的类别中,这对于预测设备可能出现的故障或电网的运行状态非常有帮助。时间序列分析专注于分析数据点随时间的变化趋势,这对于预测电网负荷的未来走势至关重要,从而为电力调度和资源分配提供依据。

### (四) 数据可视化与应用

数据可视化与应用是将数据分析结果以直观、易理解的形式展现给用户的过程。在智能电网中,数据可视化技术可以帮助运行人员快速识别电网的运行状态,发现潜在的问题,并做出及时的决策<sup>[3]</sup>。通过图表、仪表盘和地理信息系统(GIS)等工具,可以将复杂数据以图形化的方式展现,提高信息的传递效率。在应用层面,大数据分析技术已被广泛应用于电网规划、实时调度、需求响应、资产管理等多个领域,极大地提升了电力系统的自动化水平和智能化程度<sup>[4]</sup>。

## 三、大数据在智能电网中的应用场景

### (一) 电力系统运行监测

电力系统运行监测是确保智能电网稳定性的核心环节。在

这一领域,大数据技术的应用主要体现在对电网各节点实时数据的采集、传输和监控上。电网中安装的传感器和智能设备能够不间断地收集电压、电流、频率、相位角等重要参数,并将这些数据实时传送至数据中心进行分析。借助大数据分析技术,可以即刻对电网的运行状况进行评估,迅速识别出任何异常现象,如过载、短路或电压波动等问题,并立即采取相应措施,以保障电网的稳定与安全。此外,通过对历史数据的累积和分析,能够对电网的长期运行趋势进行预测,为电网的规划和未来发展提供数据支持。这样的分析方法不仅提高了电网的运维效率,也为电力系统的持续改进和优化提供了科学依据。

### (二) 负荷预测与管理

负荷预测与管理对电力系统的经济运行非常关键。大数据技术通过分析历史负荷数据、天气情况、用户行为模式、经济发展趋势等因素,可以构建高精度的负荷预测模型。这些模型能够预测未来一段时间内的电力需求,帮助电网运营商进行合理的发电计划和电网调度,降低运营成本,提高能源利用效率。同时,通过大数据分析,可以识别不同用户群体的用电特征,实现需求响应管理,引导用户在电网高峰时段减少用电,从而平衡供需关系,提高电网的运行效率。

### (三) 设备状态监测与故障诊断

确保电网设备安全运行,设备状态监测和故障诊断起着至关重要的作用<sup>[5]</sup>。大数据技术的应用,让电网设备的维护从传统的定期检修转变为更加精准的状态检修。设备上安装的传感器能够不间断地监测设备的温度、振动、声音等关键参数,并将这些数据实时传送到分析系统<sup>[6]</sup>。通过数据挖掘技术,对这些参数进行模式识别和趋势分析,以便及时了解设备的健康状况。一旦发现数据异常,系统会自动发出预警,帮助维护人员提前识别潜在的故障风险,为设备维护提供科学依据,有效降低故障发生的可能性和维修成本。

### (四) 能源管理与优化调度

智能电网的高效运行离不开能源管理与优化调度。在这一过程中,大数据技术发挥着至关重要的作用。它通过对分布式能源、储能系统和电动汽车等新兴能源的海量数据进行分析,帮助我们更好地接入和调度这些资源。实时分析这些数据,有助于优化能源配置,提升可再生能源的使用效率,减少对化石能源的依赖。此外,大数据分析还能助力电网运营商在电力市场中进行实时竞价和交易策略的制定,确保能源得到最优分配和调度,从而提升电网的整体经济效益。这一系列举措,不仅促进了能源的合理利用,也为电网的可持续发展奠定了基础。

### (五) 电力市场分析

电力市场化进程中,市场参与者数量持续增加,交易数据量大幅上升。大数据技术的运用提高了处理这些大量数据的能力,能够精确分析市场供需关系、价格变动和交易模式,为市场参与者提供了重要的决策依据<sup>[7]</sup>。借助精确的市场预测模型,发电企业、售电公司和电力用户能够更有效地规划市场策略,减少市场风险,增强在竞争激烈的市场中的竞争能力。



## 四、提升电力系统自动化水平的关键技术

### （一）自适应控制技术

自适应控制在电力系统自动化中的应用，极大地提高了系统对不确定性和动态变化的适应能力。这种技术通过实时监测系统的运行状态，自动调整控制策略，以保持系统在最佳工作点附近运行。在电力系统中，负载的波动、电源的变动以及电网参数的变化都是常见的不确定性因素，自适应控制技术能够有效应对这些挑战<sup>[8]</sup>。自适应控制技术通常包括模型参考自适应控制、自校正控制和模糊自适应控制等。模型参考自适应控制通过比较系统实际输出与参考模型的输出，自动调整控制器参数，以达到预期的性能指标<sup>[9]</sup>。自校正控制则是在线辨识系统模型参数，并据此调整控制策略。模糊自适应控制利用模糊逻辑处理不确定信息，通过规则库和模糊推理自适应调整控制规则，以适应系统的不确定性。

### （二）人工智能与机器学习

人工智能与机器学习技术在电力系统自动化中的应用，为系统的智能调度、故障诊断和预测维护提供了强大的工具。人工智能技术，特别是深度学习、强化学习等子领域的发展，使得电力系统能够从海量的数据中学习复杂的模式和关联，从而提高决策的准确性和效率。在电力系统中，人工智能可以用于负荷预测、电力市场分析、电网状态估计和故障检测等领域。负荷预测通过分析历史负荷数据、天气情况、节假日等因素，预测未来一段时间内的电力需求，为电网调度提供依据。电力市场分析则利用机器学习算法分析市场交易数据，为市场参与者提供策略建议。电网状态估计和故障检测则通过实时数据分析，快速识别电网的运行状态和潜在故障，提高电网的可靠性。

### （三）网络通信技术

网络通信技术是电力系统自动化的基础，它为系统的监控、控制和数据交换提供了必要的通道。随着通信技术的发展，电力系统中的通信网络正在从传统的专用通信网络向基于 IP 的通用通信网络转变，这为电力系统自动化带来了更高的灵活性和可扩展

性。在网络通信技术中，光纤通信、无线通信、卫星通信等多种通信方式被广泛应用于电力系统。光纤通信以其高带宽、低延迟和抗干扰能力强等特点，成为电力系统通信的首选<sup>[10]</sup>。无线通信技术，如 Wi-Fi、4G/5G 等，则为电网的远程监控和移动维护提供了便利。卫星通信则用于偏远地区的电网监控，确保了通信网络的全面覆盖。

### （四）分布式发电与储能技术

分布式发电与储能技术的快速发展，为电力系统自动化水平的提升提供了新的动力。分布式发电，包括太阳能、风能、燃料电池等多种形式，使得电力生产更加分散和灵活。储能技术，如电池储能、飞轮储能等，则为电力系统的稳定运行和调峰填谷提供了重要支持。在分布式发电与储能技术的支持下，电力系统可以实现更高效的能源利用和更灵活的调度。例如，当分布式发电量增加时，储能系统可以吸收多余的电能，在需求高峰时释放，从而平衡供需关系。此外，储能系统还可以为电网提供备用容量，提高电网的抗冲击能力。分布式发电与储能技术的集成应用，推动了电力系统向更高效、更可靠、更环保的方向发展。

## 五、结束语

智能电网与大数据技术的融合，为电力系统自动化水平的提升带来了前所未有的机遇。通过数据采集、存储、挖掘和分析，我们可以更深入地理解电力系统的运行规律，预测未来发展趋势，并做出更加科学的决策。自适应控制技术、人工智能与机器学习、网络通信技术、分布式发电与储能技术等关键技术的不断发展，将进一步推动电力系统自动化水平的提升，构建清洁、高效、安全的现代能源体系。未来，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，智能电网与大数据技术的融合将更加紧密，并与其他新兴技术，如物联网、区块链等相结合，为电力行业带来更多创新和变革。我们相信，通过不断探索和创新，智能电网与大数据技术将为构建可持续发展的能源体系做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 卢珊, 郭雷岗. 面向智能电网的电力大数据技术应用分析 [J]. 河南科技, 2022, 41(13): 23-26. DOI: 10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2022.13.005.
- [2] 徐登科. 基于大数据技术应用的智能电网监控系统研究 [J]. 电气时代, 2022, (10): 28-30.
- [3] 夏盛海, 杨攀, 罗宇. 智能电网调控技术支持系统中设备监控大数据分析研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(07): 114-116+149. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.07.042.
- [4] 沈梦雪, 李屹然. 基于云计算的大数据分析技术在智能电网中的应用 [J]. 无线互联科技, 2022, 19(13): 117-119.
- [5] 邓明. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术探析 [J]. 科技与创新, 2022, (08): 7-9+12. DOI: 10.15913/j.cnki.kjyex.2022.08.003.
- [6] 谢清玉, 张耀坤, 李经纬. 面向智能电网的电力大数据关键技术应用 [J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(12): 39-46.
- [7] 程宁. 大数据技术在电力企业中的应用研究 [J]. 企业科技与发展, 2021, (12): 82-84.
- [8] 汪林. 智能电网大数据的关键技术分析 [J]. 集成电路应用, 2021, 38(10): 116-117. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2021.10.052.
- [9] 王琨, 杜亮, 马来·对山拜, 等. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术研究 [J]. 微型电脑应用, 2021, 37(08): 123-126.
- [10] 李晨, 郑远潼, 白云. 大数据技术在智能电网中的应用现状及展望 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(15): 37-38. DOI: 10.14004/j.cnki.ckt.2021.1443.

# 基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化

刘栖雯

中国石油大学（华东），山东 青岛 266580

**摘要：** 在现代社会，电力系统的稳定运行对经济发展和社会生活的作用至关重要。随着技术的日益进步，人工智能在电力系统故障预测与维护中的应用日益广泛，为提高系统可靠性提供了新的解决方案。本文旨在探讨人工智能技术如何优化故障预测与维护策略，以应对电力系统面临的挑战，并展望其未来发展潜力。本文将探讨人工智能如何通过数据分析、模型优化和智能化维护策略，提高电力系统的可靠性和效率，并展望其在未来的应用前景与发展潜力。

**关键词：** 人工智能；电力系统；故障预测；维护优化

## Fault Prediction and Maintenance Optimization of Power System Based on Artificial Intelligence

Liu Qiwen

China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580

**Abstract：** In modern society, the stable operation of the power system plays a crucial role in economic development and social life. With the continuous advancement of technology, the application of artificial intelligence in power system fault prediction and maintenance is becoming increasingly widespread, providing new solutions for improving system reliability. This article aims to explore how artificial intelligence technology can optimize fault prediction and maintenance strategies to address the challenges faced by the power system, and to look forward to its future development potential. This article will explore how artificial intelligence can improve the reliability and efficiency of power systems through data analysis, model optimization, and intelligent maintenance strategies, and look forward to its future application prospects and development potential.

**Keywords：** artificial intelligence; power system; fault prediction; maintenance optimization

### 引言

随着电力系统复杂性的增加，传统的故障预测与维护方法已难以满足现代需求。人工智能技术的引入为电力系统带来了革命性的变革，特别是在故障预测与维护优化方面展现出巨大潜力。

### 一、电力系统的定义与功能

如下图所示：

项目	描述
定义	电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的一体化系统，旨在将电能从生产地点安全、可靠、高效地传输到用户。
功能	发电：通过各种能源（如煤炭、天然气、水力、核能、风能、太阳能等）转化为电能。
	输电：将发电厂产生的大量电能通过高压输电线路传输到远距离的变电站。
	变电：在变电站中将高压电能转换为适合配电的中低压电能。
	配电：将变电后的电能通过配电网络分配到各个用户。
	用电：用户通过各种电器设备使用电能，满足日常生活和工业生产的需要。

### 二、基于人工智能的电力系统故障预测与维护面临的挑战

#### （一）数据质量与可用性问题

如下图所示：

挑战类别	具体问题描述	影响
数据质量问题	数据缺失、噪声、不一致	严重影响模型的训练和预测准确性
数据可用性问题	数据隐私、安全或技术限制导致部分关键数据无法获取或难以整合	限制了人工智能模型的全面应用
关键前提	确保数据的高质量和高可用性	实现有效故障预测与维护的关键前提

作者简介：刘栖雯（2003.4-），女，汉，新疆昌吉，本科学历，研究方向：电气工程及其自动化，电力系统方向

## （二）模型复杂性与计算资源需求

如下图所示：

挑战类别	具体问题描述	影响
模型复杂性问题	模型结构日益复杂，参数数量急剧增加	增加模型训练的难度，降低训练效率
计算资源需求问题	大规模数据处理和模型训练需要强大的计算能力，包括高性能的 CPU、GPU 以及大量的内存资源	计算资源的获取和配置受到成本、技术或物理条件的限制，导致模型部署和运行面临实际困难

## （三）实时预测与响应速度的挑战

如下图所示：

挑战类别	具体问题描述	影响
实时预测问题	需要实时或近实时的故障预测能力	对计算速度和算法效率提出了极高要求
响应速度问题	数据传输延迟、计算瓶颈或模型更新滞后等因素	可能导致预测结果的时效性不足，影响故障响应的及时性和准确性

## （四）维护策略的个性化与适应性问题

如下图所示：

挑战类别	具体问题描述	影响
个性化维护问题	传统的维护策略缺乏足够的个性化，难以针对特定设备或系统状态进行精准调整	限制了维护策略的有效性和效率
适应性维护问题	电力系统运行条件和外部环境的变化要求维护策略具有高度的适应性	维护策略难以及时响应系统状态的变化并做出相应调整

# 三、基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化措施

## （一）数据预处理与特征工程

在基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化中，数据预处理与特征工程是至关重要的第一步<sup>[1]</sup>。数据预处理涉及清洗原始数据，去除噪声、填补缺失值、解决不一致性，并通过归一化或标准化等方法提高数据质量。这一步骤确保了输入数据的一致性和可靠性，为后续的分析 and 模型训练打下坚实基础<sup>[2]</sup>。特征工程则是从预处理后的数据中提取有意义的特征，这些特征能够代表电力系统的状态和潜在故障模式。这包括选择最相关的特征、通过变换增强特征的表达能力<sup>[3]</sup>，以及构造新的特征以揭示数据中的隐藏关系。特征工程的目标是构建一个高效且具有预测力的特征集合，从而提升故障预测模型的性能。通过精心设计的数据预处理和特征工程，可以显著提高模型的准确性和鲁棒性，为电力系统的故障预测与维护提供强有力的数据支持<sup>[4]</sup>。此外，这些步骤还有助于减少模型的复杂性，加快训练速度，使得模型能够更快地适应新的数据和变化，从而在电力系统的实时监控和预警中发挥重要作用<sup>[5]</sup>。

## （二）模型选择与优化

模型选择与优化是基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化的关键步骤。在众多的人工智能模型中，选择最适合电力系统特点的模型至关重要。这可能涉及评估不同模型的性能，如决策树、支持向量机、神经网络等，并根据电力系统的特性数据和运行环境进行选择<sup>[6]</sup>。模型优化则旨在通过调整模型的参数和结构，提高其泛化能力和预测精度。这包括使用超参数调优技术，如网格搜索或随机搜索，以及应用正则化方法来防止过拟合。此外，集成学习方法，如随机森林或梯度提升机，可以进一步提高模型的稳定性和预测能力<sup>[7]</sup>。随着数据的变化和系统的发展，模型需要不断更新和迭代，以保持其预测性能。通过持续的模型选择与优化，可以确保故障预测系统在复杂多变的电力环境中保持高效和可靠，为电力系统的稳定运行提供有力保障。模型优化不仅提升了预测的准确性，还增强了系统的适应性和鲁棒性，为电力系统的智能化发展奠定了坚实的技术基础<sup>[8]</sup>。

## （三）实时监控与预警系统

实时监控与预警系统是基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化的关键技术之一。在电力系统运行过程中，实时监控系統持续收集关键数据，如电流、电压、温度等，并通过人工智能算法进行即时分析，以识别异常模式和潜在故障<sup>[9]</sup>。预警系统则根据监控结果发出警报，通知运维人员采取相应措施。这种系统需要具备快速响应能力，能够在故障发生前提供及时的预警，从而减少损失和提高系统可靠性。实时监控与预警系统的建立，不仅提高了故障预测的时效性，还增强了电力系统的自我保护和应急处理能力<sup>[10]</sup>。通过实时监控与预警系统，电力系统能够实现对潜在故障的早期识别和快速响应，确保电力供应的连续性和稳定性。此外，该系统还能够通过数据分析提供故障原因的深入洞察，帮助运维人员更好地理解系统状态，优化维护策略，从而提升整个电力系统的运行效率和安全性<sup>[11]</sup>。

## （四）维护策略的智能化

维护策略的智能化是基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化的核心内容之一。传统的维护策略往往基于固定的时间表或经验规则，缺乏灵活性和针对性<sup>[12]</sup>。智能化维护策略利用人工智能技术，根据实时数据和预测结果动态调整维护计划。这包括预防性维护的优化，如根据设备的健康状况和预测的故障风险调整维护周期和内容；以及预测性维护的实施，如在故障发生前进行精确的干预和修复<sup>[13]</sup>。智能化维护策略能够提高维护的效率和效果，减少不必要的维护活动，降低成本，同时确保电力系统的高效和安全运行。通过智能化维护策略，电力系统能够更好地适应不断变化的环境和运行条件，实现更加精准和经济的维护。这种策略的实施不仅提升了电力系统的整体性能，还为电力行业的可持续发展提供了技术支持。智能化维护策略的推广应用，将极大地推动电力系统的现代化进程，为未来的智能电网建设奠定坚实基础<sup>[14]</sup>。

四、结束语

基于人工智能的电力系统故障预测与维护优化是提升电力系统可靠性和效率的关键。通过数据预处理、模型优化、实时监控

和智能化维护策略，可以有效应对电力系统面临的挑战，实现故障的早期预警和精准维护<sup>[15]</sup>。未来，随着技术的进步，人工智能将在电力系统中发挥更大的作用，推动电力行业的智能化发展。

参考文献

[1] 张晓明, 林宇, 刘纪才, 等. 电力系统中基于人工智能的故障预测技术 [J]. 智能物联技术, 2024, 56(01): 22–25.

[2] 牛娜娜. 基于人工智能的电力设备故障诊断与预测算法研究 [J]. 今日制造与升级, 2023(11): 151–153+164.

[3] 刘裕舸. 基于秃鹰搜索算法优化支持向量机的电力系统故障预测方法研究 [J]. 红水河, 2022, 41(06): 95–101.

[4] 王小东. 基于人工智能和数据挖掘的电力系统故障分类预测 [D]. 天津理工大学, 2021.

[5] 陈昊昊. 基于多层分布式卷积神经网络的电力故障预测系统 [D]. 扬州大学, 2019.

[6] 类 ChatGPT 大语言模型在电力系统中的应用前景 [J]. 于硕; 王司宇; 王超; 陈震宇; 张跃. 电气时代, 2023(10): 50–53.

[7] Exploration of Artificial-intelligence Oriented Power System Dynamic Simulators [J]. Tannan Xiao; Ying Chen; Jianquan Wang; Shaowei Huang; Weilin Tong; Tirui He. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2023(02): 401–411.

[8] 基于组合神经网络的配电网故障定位方法 [J]. 张雷; 李晓影; 张沛; 陈玉鑫. 电力系统及其自动化学报, 2023(09): 87–94.

[9] 基于电网专家策略模仿学习的新型电力系统实时调度 [J]. 朱介北; 徐思阳; 李炳森; 王云逸; 王杨; 俞露杰; 熊雪君; 王成山. 电网技术, 2023(02): 517–530.

[10] 新型电力系统仿真应用软件设计理念与发展路径 [J]. 沈沉; 陈颖; 黄少伟; 于智同; 宋炎侃; 高仕林. 电力系统自动化, 2022(10): 75–86.

[11] 面向新型电力系统的高性能电磁暂态云仿真技术 [J]. 陈颖; 高仕林; 宋炎侃; 黄少伟; 沈沉; 于智同. 中国电机工程学报, 2022(08): 2854–2864.

[12] 基于时空图卷积网络的电力系统暂态稳定评估 [J]. 庄颖睿; 肖谭南; 程林; 陈颖; 关慧哲. 电力系统自动化, 2022(11): 11–18.

[13] “十四五”智能制造发展规划解读及趋势研判 [J]. 董凯. 中国工业和信息化, 2022(01): 26–29.

[14] 能源互联网数字孪生及其应用 [J]. 沈沉; 贾孟硕; 陈颖; 黄少伟; 向月. 全球能源互联网, 2020(01): 1–13.

[15] 国家电网公司信息化“SG186”工程实施战略研究 [J]. 唐跃中; 魏晓菁. 电力信息化, 2007(10): 18–22.



# 海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护

姬晓东, 陈子祥, 权智杰  
海洋石油工程股份有限公司, 天津 300450

**摘 要 :** 本文概述了海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护的理论基础, 包括电气设备故障诊断方法、预测性维护技术及相关算法和模型。随后, 分析了海上风电场电气设备的故障类型及原因, 并探讨了基于信号处理、机器学习和数据驱动的故障诊断方法。同时, 阐述了海上风电场电气设备的预测性维护策略, 包括基于状态的维护和基于寿命预测的维护等。本文旨在为海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护提供一种有效的方法和手段, 以降低故障率, 提高设备可靠性和风电场的运行效率, 为我国海上风电场的稳定发展提供技术支持。

**关 键 词 :** 海上风电场; 电气设备; 故障诊断; 预测性维护; 状态监测

## Fault Diagnosis and Predictive Maintenance of Electrical Equipment in Offshore Wind Farms

Ji Xiaodong, Chen Zixiang, Quan Zhijie  
Offshore Oil Engineering Company Limited, Tianjin 300450

**Abstract :** This paper summarizes the theoretical basis of electrical equipment fault diagnosis and predictive maintenance for offshore wind farms, including electrical equipment fault diagnosis methods, predictive maintenance technology and related algorithms and models. Then, the fault types and causes of electrical equipment in offshore wind farms are analyzed, and fault diagnosis methods based on signal processing, machine learning and data-driven are discussed. At the same time, the predictive maintenance strategies of electrical equipment in offshore wind farms are described, including maintenance based on state and maintenance based on life prediction. This paper aims to provide an effective method and means for the fault diagnosis and predictive maintenance of electrical equipment in offshore wind farms, so as to reduce the failure rate, improve the reliability of equipment and the operating efficiency of wind farms, and provide technical support for the stable development of offshore wind farms in China.

**Keywords :** offshore wind farm; electrical equipment; fault diagnosis; predictive maintenance; condition monitoring

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护的日益重视, 可再生能源的开发和利用受到了广泛关注。在众多可再生能源中, 风能作为一种清洁、可再生的能源, 具有巨大的发展潜力。其中, 海上风电场凭借其更高的风速和更稳定的运行条件, 成为了风能开发的重要方向。然而, 海上环境复杂恶劣, 电气设备故障频发, 且维护成本高昂。因此, 开展海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护研究具有重要的现实意义。

电气设备是海上风电场正常运行的关键组成部分, 其状态的良好与否直接影响到整个风电场的发电效率和稳定性。然而, 海上风电场的运行环境恶劣, 设备易受到盐雾、湿度、温度等多种因素的影响, 导致设备故障频发。此外, 海上风电场的维护成本高昂, 一旦设备发生故障, 将会给风电场带来巨大的经济负担。因此, 开展海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护研究, 提高设备的可靠性和降低维护成本, 对于海上风电场的稳定运行和可持续发展具有重要意义。

## 一、海上风电场电气设备故障诊断与预测性维护理论基础

### (一) 电气设备故障诊断方法

海上风电场是一个动态系统, 其状态会随着风力发电情况而

不断变化, 要求其中的电气部分有较高的可靠性。<sup>[1]</sup>海上风电场的电气设备面临盐雾腐蚀、高湿度和温度波动等挑战, 增加了故障风险。为确保稳定运行, 需采用故障诊断方法(FdM), 包括信号处理(如傅里叶变换、小波变换)和人工智能(如机器学习算法)。通过传感器收集数据, FdM方法提取状态特征, 建立故

障诊断模型，如支持向量机、随机森林、神经网络，以及数据驱动方法如聚类分析和主成分分析。这些方法提高设备可靠性和效率，保障风电场稳定运行。

## （二）预测性维护技术

预测性维护技术（PdM）在海上风电场的电气设备管理中至关重要，它通过先进的传感器技术收集温度、振动、电流等数据，并利用统计分析、机器学习、人工智能等算法分析这些数据，以实时监测设备状态并预测未来潜在的故障风险。这有助于工程师制定和执行最佳维护计划，以减少停机时间，延长设备寿命，并降低维护成本。

## 二、海上风电场电气设备故障类型及原因分析

### （一）故障类型

海上风电场的电气设备可能遭受多种故障，包括电气故障（如电缆和绝缘问题）、机械故障（如轴承和齿轮箱损坏）、传感器和监测设备故障（影响数据收集）、环境因素引起的故障（如盐雾和湿度导致的性能下降），以及人为错误（如安装和维护失误）。<sup>[2]</sup>这些故障可能由过载、短路、磨损、环境侵蚀等多种因素引起，需要通过综合的预测性维护和故障诊断策略来预防和解决。

### （二）故障原因

海上风电场的电气设备在运行中可能遭遇由电气、机械、环境、人为、设计和制造缺陷，以及老化和疲劳等多种因素引起的故障。电气故障包括过载、短路、绝缘老化和接触不良等；机械故障涉及轴承、齿轮箱、叶片等问题；环境因素如盐雾、湿度、温度变化和自然冲击影响设备性能；人为错误如安装、维护和操作失误也是故障原因；设计和制造缺陷，以及设备老化和疲劳也会导致故障。通过综合管理策略和技术手段，可以降低这些故障风险，确保风电场的稳定运行。

## 三、海上风电场电气设备故障诊断方法

### （一）基于信号处理的故障诊断方法

海上风电场的电气设备故障诊断依赖于信号处理技术，这些技术包括傅里叶变换、小波变换和希尔伯特-黄变换等。<sup>[3]</sup>通过传感器收集电流、电压、温度和振动等数据，信号处理技术能够提取反映设备状态的特征，如通过傅里叶变换分析频率成分，小波变换揭示局部特征，以及希尔伯特-黄变换提取非线性特征。这些方法帮助识别设备的正常运行状态和潜在故障，提高故障诊断的准确性和可靠性。

### （二）基于机器学习的故障诊断方法

海上风电场的电气设备易受海洋环境的影响，因此故障诊断至关重要。这包括使用传感器收集电流、电压、温度和振动等数据，然后通过信号处理技术（如傅里叶变换、小波变换、希尔伯特-黄变换）提取特征。结合人工智能算法（如支持向量机、随机森林、神经网络）和数据驱动方法（如聚类分析、主成分分

析），可以建立故障诊断模型，预测设备状态。<sup>[4]</sup>此外，基于物理模型的故障诊断方法通过比较模型预测和实际数据来检测故障。这些方法共同确保海上风电场的可靠性和效率。

## （三）基于数据驱动的故障诊断方法

为确保海上风电场的稳定运行，研究电气设备故障诊断方法至关重要。这些方法依赖于对运行数据的监测和分析，结合信号处理技术如傅里叶变换、小波变换和希尔伯特-黄变换来提取设备状态特征。人工智能算法（如支持向量机、随机森林、神经网络）和数据驱动方法（如聚类分析、主成分分析）用于建立故障诊断模型。基于物理模型的故障诊断方法通过比较模型预测和实际数据来检测故障。这些综合方法提高海上风电场的可靠性和效率。

## 四、海上风电场电气设备预测性维护策略

### （一）维护策略概述

海上风电场的电气设备预测性维护策略通过实时监测和数据分析优化维护计划，旨在减少停机时间、延长设备寿命和降低维护成本。该策略依赖于传感器技术收集温度、振动、电流等数据，利用统计分析、机器学习和人工智能等算法建立预测模型，评估设备健康状况和预测故障风险。<sup>[5]</sup>维护决策的制定和执行基于预测模型结果，以延长设备寿命、减少停机时间和降低维护成本。实际应用中，需考虑设备类型、运行环境和维护历史，与制造商、运维团队和数据分析专家合作制定策略。

### （二）基于状态的维护（CBM）

海上风电场的电气设备基于状态的维护（Condition-Based Maintenance, CBM）是一种以设备实际状态为依据的维护策略。这种维护策略的核心在于实时监测设备的运行状态，并根据设备的状态信息来制定维护计划，以保证设备的可靠性和延长设备的使用寿命。

1. 实时监测：通过安装传感器和监测设备，可以实时收集设备的运行数据，如温度、振动、电流、电压等。这些数据反映了设备的实际运行状态，有助于工程师及时了解设备的性能和潜在的故障风险。<sup>[6]</sup>

2. 数据分析：基于收集到的实时数据，可以使用各种数据分析工具和算法进行处理和分析，以揭示设备的状态和性能趋势。例如，可以应用统计分析、机器学习、人工智能等方法来预测设备的未来状态和潜在的故障风险。

3. 维护决策：根据数据分析的结果，工程师可以制定相应的维护计划，确定维护的最佳时机和内容。这有助于工程师在设备出现故障之前采取措施进行修复或更换，从而减少停机时间，延长设备的使用寿命。

4. 降低维护成本：与传统的定期维护相比，基于状态的维护（CBM）可以根据设备的实际状态来制定维护计划，避免不必要的维护和更换，从而降低维护成本。

5. 提高设备可靠性：通过实时监测和数据分析，可以及时发现设备的潜在故障风险，并采取相应的措施进行修复或更换，从

而提高设备的可靠性和稳定性。

在实际应用中，基于状态的维护（CBM）需要考虑设备的类型、运行环境、维护历史等因素。通过与设备的制造商、运维团队和数据分析专家合作，可以制定出适合特定设备的基于状态的维护（CBM）策略。

### （三）基于寿命预测的维护

海上风电场的电气设备基于寿命预测的维护是一种维护策略，它通过分析设备的运行数据和维护历史，预测设备的剩余使用寿命，并据此制定维护计划。这种维护策略旨在延长设备的使用寿命，减少停机时间，并降低维护成本。

1. 数据分析：通过收集设备的运行数据和维护历史，可以利用数据分析工具和算法进行分析，以揭示设备的性能趋势和潜在的故障风险。<sup>[7]</sup>例如，可以应用统计分析、机器学习、人工智能等方法来预测设备的未来状态和剩余使用寿命。

2. 寿命预测：根据数据分析的结果，可以预测设备的剩余使用寿命，并据此制定维护计划。这有助于工程师在设备达到其预期寿命之前采取措施进行修复或更换，从而延长设备的使用寿命。

3. 维护决策：根据寿命预测的结果，工程师可以制定相应的维护计划，确定维护的最佳时机和内容。这有助于工程师在设备出现故障之前采取措施进行修复或更换，从而减少停机时间，延长设备的使用寿命。<sup>[8]</sup>

4. 降低维护成本：与传统的定期维护相比，基于寿命预测的维护可以根据设备的实际状态来制定维护计划，避免不必要的维护和更换，从而降低维护成本。

5. 提高设备可靠性：通过寿命预测和维护决策，可以及时发现设备的潜在故障风险，并采取相应的措施进行修复或更换，从而提高设备的可靠性和稳定性。

### （四）预测性维护实施流程

海上风电场的电气设备预测性维护实施流程是一种基于设备状态监测和数据分析的维护策略，旨在优化设备的维护计划，减少停机时间，延长设备寿命，并降低维护成本。<sup>[9]</sup>在海上风电场的电气设备管理中，预测性维护实施流程的应用能够帮助工程师更好地了解设备的运行状态，提前发现潜在的故障风险，并采取相应的措施进行修复或更换，以确保设备的可靠性和稳定性。

1. 状态监测：通过安装传感器实时监测设备的运行状态，收集运行数据。这些数据反映了设备的实际运行状态，有助于工程师及时了解设备的性能和潜在的故障风险。

2. 数据分析：对收集到的数据进行处理和分析，以识别设备的状态和性能趋势。这包括应用统计分析、机器学习、人工智能等算法和技术，以及与其他数据分析工具的结合，以提高数据分析的准确性和可靠性。

3. 预测模型：利用算法和技术建立预测模型，通过分析历史数据来预测设备的未来状态和潜在的故障风险。这些模型可以帮助工程师制定相应的维护计划，确定维护的最佳时机和内容。

4. 维护决策：根据预测模型的结果，制定相应的维护计划，确定维护的最佳时机和内容。这包括制定维护计划、安排维护团队、采购维护材料等。

5. 维护执行：按照维护计划进行维护操作，包括修复或更换故障部件，以确保设备的可靠性和稳定性。<sup>[10]</sup>在维护过程中，需要确保维护操作的安全性和有效性，避免对设备造成进一步损害。

6. 维护记录：记录维护操作的结果和经验，以便后续分析和改进。这包括维护记录、故障报告、维护成本分析等。

## 五、结束语

本论文深入研究了海上风电场电气设备的故障诊断与预测性维护，探讨了设备在恶劣海洋环境中面临的挑战，如盐雾腐蚀、湿度、温度波动等，这些因素增加了故障风险，强调了故障诊断的重要性。详细介绍了故障诊断方法，包括信号处理技术如傅里叶变换、小波变换、希尔伯特-黄变换，以及人工智能算法如支持向量机、随机森林、神经网络，这些方法能够提取设备状态特征，建立故障诊断模型，预测设备状态。同时，讨论了预测性维护技术在电气设备管理中的重要性，它通过实时监测和数据分析预测设备未来状态和潜在故障风险，优化维护计划。本研究为海上风电场提供了理论支持和实践指导，通过故障诊断与预测性维护技术的结合，提高了海上风电场的可靠性和效率，促进了其稳定运行和可持续发展。未来的研究将进一步探讨这些技术的融合、优化和改进，以实现更智能化和高效的管理。

## 参考文献

- [1] 李锦基. 海上风电场风力发电机运行维护策略研究 [J]. 光源与照明, 2022, (12): 222-224.
- [2] 刘明敬; 陈彬; 刘军涛; 孙珂; 田伟辉; 高岩. 海上风电场发电能力后评估及影响因素分析 [J]. 西北水电, 2023(02): 91-95.
- [3] 杜剑强, 仲俊成, 李斌, 等. 中国海上风电发展现状与展望 [J]. 油气与新能源. 2023, 35(3). DOI: 10.3969/j.issn.2097-0021.2023.03.001.
- [4] 刘景禄. 海上风电场建设与船舶通航安全研究 [J]. 中国水运 (下半月), 2020(07): 27-28.
- [5] 黄永堤, 吴占友, 郝斌. 海上风电场运维一体化平台的开发应用研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (03): 62-64.
- [6] 王建国. 海洋物探技术在海上风电场勘察中的适用性研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33(01): 111-113+117.
- [7] 朱永飞, 马佳星, 李子航, 等. 海上风电场布局协同优化算法 [J]. 船舶工程, 2024, 46(01): 22-29. DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2024.01.04.
- [8] 刘思轶, 吴垠峰, 曹建喜. 海域宽带融合通信系统在海上风电场运行监测中的应用 [J]. 中国水运 (下半月), 2024, 24(01): 39-41.
- [9] 张文鹏. 海上风电场运维监测方法研究 [J]. 地矿测绘, 2023, 39(04): 28-32. DOI: 10.16864/j.cnki.dkch.2023.0054.
- [10] 陈卫文, 吴维棉. 海上风电场交通安全预警系统升级改造 [J]. 中国海事, 2023, (12): 47-49. DOI: 10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2023.12.015.

# 火电厂锅炉燃烧控制与节能技术研究

卢松松

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：** 本文聚焦火电厂锅炉燃烧控制与节能技术，阐述了其重要性、控制策略、节能技术和发展趋势。文章强调燃烧控制对提高能源效率、降低排放和保护设备安全的关键作用，并介绍了提高锅炉热效率、能源回收利用和运行参数优化的技术措施。同时，文章还展望了高效燃烧、余热回收、智能化控制和燃料多元化等未来技术发展方向。

**关 键 词：** 锅炉燃烧控制；节能技术；燃烧效率；污染物排放；未来发展趋势

## Research on Boiler Combustion Control and Energy Saving Technology in Thermal Power Plant

Lu Songsong

Yanxi Operation Branch, Guizhou Xidan Electric Power Co., LTD., Zunyi, Guizhou 563108

**Abstract：** This paper focuses on boiler combustion control and energy-saving technology in thermal power plant, and expounds its importance, control strategy, energy-saving technology and development trend. This paper emphasizes the key role of combustion control in improving energy efficiency, reducing emissions and protecting equipment safety, and introduces technical measures to improve boiler thermal efficiency, energy recovery and operation parameter optimization. At the same time, the paper also looks forward to the future technology development direction, such as efficient combustion, waste heat recovery, intelligent control and fuel diversification.

**Keywords：** boiler combustion control; energy-saving technology; combustion efficiency; pollutant discharge; future development trend

## 引言

在我国能源结构转型与环保政策的双重推动下，火电厂锅炉燃烧控制与节能技术的研究显得尤为关键。尽管火力发电仍是我国主要的能源供应方式，但传统的燃煤火电模式对环境的负面影响较大，燃烧效率有待提高，能源浪费问题亟待解决。因此，研究火电厂锅炉的燃烧控制与节能技术，对于实现我国能源的可持续发展、减少环境污染、提高能源利用效率具有重要意义。

## 一、火电厂锅炉燃烧控制技术

### （一）锅炉燃烧过程

火力发电厂的锅炉是整个发电过程中能量转换的核心。锅炉燃烧过程是将燃料的化学能转化为热能，再将热能转化为机械能最终生成电能的一系列能量转换过程，燃烧过程的优化直接关系到发电效率和环境保护。

锅炉燃烧过程主要包括燃料的供应、空气的供给、燃烧产物的排放等环节。燃料的供应要保证稳定且符合锅炉的设计要求，无论是煤炭、石油还是天然气，都需要经过严格的处理和检测，以保证其质量满足燃烧过程的需要。空气的供给要适量，过量会带走热量，减少锅炉的热效率，不足则会导致燃烧不完全，增加污染物排放。燃烧产物的排放，特别是二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的排放，是环保考核的重要指标，需要通过脱硫、脱硝和除

尘等装置来控制。

为了提高锅炉的燃烧效率，减少污染物排放，科研人员 and 工程师们研究了多种燃烧技术，如低温燃烧、浓淡燃烧、分段燃烧等。这些技术都是为了在保证燃烧充分的同时，尽可能减少热量损失和污染物生成。

### （二）燃烧控制的重要性

目前，锅炉燃烧需要消耗大量燃料，国内对电力的需求更为迫切。在国民经济发展中最为主要的组成内容就是电能，作为不可或缺发电企业的火力发电厂，在我国占据着至关重要的位置<sup>[1]</sup>。燃烧控制对于火电厂锅炉的运行来说，其重要性不言而喻。它通过精准调整燃料和氧气的配比，使得燃烧过程更加高效，大大减少了燃料的浪费。这样做不仅提高了热能的转换效率，还大幅度降低了氮氧化物和硫氧化物的排放，对改善大气环境起到了积极作用。同时，这种精确控制还能有效避免锅炉运行



中的不稳定燃烧问题，防止炉膛爆炸等安全事故的发生，保障了人员和设备的安全。另外，减少锅炉内部的热应力，也减缓了设备的磨损和腐蚀，延长了设备的使用寿命。可以说，燃烧控制技术是火电厂实现安全、高效和环保运行的关键。

### （三）燃烧控制策略及方法

#### 1. 燃烧自动控制系统

火电厂锅炉的燃烧自动控制系统是确保锅炉安全、高效运行的关键技术之一。该系统通过监测锅炉的各项参数，如燃料流量、风量、炉膛压力、火焰温度等，实时调整燃料与空气的配比，以实现最佳的燃烧效果<sup>[2]</sup>。

在这个系统中，过量空气系数的控制是一个核心部分。通过精确控制过量空气系数，可以保证燃烧的完全性，同时减少氮氧化物的排放。系统会根据锅炉的实际工况，如负荷变化、燃料类型转换等，动态调整过量空气系数，确保燃烧效率最大化。为了进一步提高燃烧效率，燃烧控制系统还会采用先进的优化算法，如遗传算法、神经网络等，来寻找最佳的燃烧参数组合。这些算法能够从大量的历史数据中学习，为锅炉提供更加精准的控制策略。此外，燃烧控制系统还会配合使用诸如火焰检测、氧量分析等在线监测技术，以实时监控锅炉的燃烧状态，确保燃烧过程稳定、安全。

#### 2. 燃烧优化算法

在火力发电厂，优化锅炉的燃烧控制策略对于提升能源利用效率和降低环境污染至关重要。传统的燃烧控制主要依赖人工经验调整，但现代技术通过引入燃烧优化算法，使控制更加精准高效<sup>[3]</sup>。优化算法如遗传算法、粒子群优化和模拟退火等，它们通过模仿自然界优化过程，不断调整燃烧参数，寻找最优燃烧状态。同时，机器学习技术如神经网络和模糊逻辑，也能根据历史数据学习燃烧特性，自动调整参数以实现最佳燃烧效率。这些算法的应用，不仅提升了发电效率，减少了污染物排放，还降低了运行成本，促进了火力发电行业的可持续发展。

#### 3. 燃烧器调节技术

燃烧器调节技术涉及到对燃烧器喷口面积、喷燃比和喷嘴角度的精准控制。通过调节这些参数，可以实现对燃烧速度和温度的优化，从而提高热效率并减少氮氧化物等有害物质的排放。现代火电厂采用电子控制系统来实现燃烧器的自动调节，这些系统能够实时响应锅炉的运行状态，自动调整燃烧参数，以适应负荷变化和保证燃烧稳定<sup>[4]</sup>。此外，燃烧器调节技术还包括对燃油和天然气的混燃控制，以实现最低污染燃烧。通过这些技术的应用，火电厂不仅能提升发电效率，还能满足严格的环保要求。

## 二、火电厂锅炉节能技术

锅炉热效率提升、能源回收利用和运行参数优化技术，共同构筑了一个全方位的能源高效利用体系。这一体系通过提高燃烧效率、回收和利用余能，以及智能调整运行参数等多种手段，实现能源利用效率的最大化和能源成本的最小化，同时减少碳排放，促进可持续发展，这些技术相互协同，共同提升锅炉的整体

性能，为实现能源的清洁、高效利用贡献力量。

### （一）锅炉热效率提升技术

火电厂锅炉作为能量转换的核心设备，其热效率的高低直接关系到整个电厂的经济性和能源利用率。为了提高锅炉的热效率，工程师们通常会采用一系列的技术措施，其中，燃烧优化技术是提高锅炉热效率的关键之一。

燃烧优化技术主要包括燃烧器的改进、燃料的预处理以及燃烧过程的自动控制<sup>[5]</sup>。以燃烧器的改进为例，通过优化燃烧器的结构设计，可以使燃料在燃烧室内得到更充分的混合和更完全的燃烧。例如，采用分级燃烧技术，将燃料分阶段喷入燃烧室，可以有效地降低氮氧化物的生成，同时提高燃烧效率。此外，燃料的预处理也对提高锅炉热效率有着显著影响。通过对燃料进行干燥、破碎等预处理，可以增大燃料的表面积，提高燃料的燃烧速度和燃烧完全度<sup>[6]</sup>。比如，将煤粉进行微细化处理，可以使煤粉在炉膛内更易于与氧气混合，从而提高燃烧效率。燃烧过程的自动控制则是通过实时监测锅炉的运行参数，如温度、压力、氧气含量等，并据此调整燃烧过程，以保证锅炉始终在最佳状态下运行。这种技术的应用，不仅可以提高锅炉的热效率，还能减少因人工操作不当而引起的安全事故。

### （二）能源回收与利用技术

火电厂在发电过程中，大量的余热如果直接排放，不仅是对能源的极大浪费，也会对环境造成不良影响<sup>[7]</sup>。采用能源回收与利用技术，特别是余热回收系统，是火电厂提高能源使用效率的关键措施，这一技术能够将发电过程中产生的余热捕获并转化为有用的热能，极大地提升了能源的利用价值。例如，在北方寒冷地区，火电厂通过余热回收系统，将原本排放到大气中的热量用于居民供暖，不仅减少了能源消耗，还提高了居民的生活质量。同样，这些回收的热能也可以用于生产热水，满足工业或民用的热水需求，如洗衣、洗澡等，这样既节约了能源，又减少了热水加热过程中的能源消耗。以某大型火电厂为例，通过安装余热回收系统，每年能够节约数万吨标准煤，同时减少数十万吨的二氧化碳排放，实现了经济效益和环境效益的双赢。

在致力于节能减排的大背景下，火电厂将提高锅炉的热效率视为关键行动。这涉及到对燃烧技术的不断改进，以保证燃料能够彻底燃烧，充分释放其热能。同时，锅炉设计的改进也不可或缺，比如调整受热面的设计来增加受热面积，以此提高热交换的效率，从而增强热效率。另一方面，强化锅炉的日常运行管理对于提升热效率同样至关重要，这包括定期的维护和保养工作，以保持锅炉内部清洁，以及实时监测锅炉的运行数据，快速响应并调整，保障锅炉运行在最佳状态<sup>[8]</sup>。

### （三）锅炉运行参数优化

在锅炉的运行过程中，诸多参数均需精心调控，包括但不限于给水温度、汽包水位、燃烧调整以及风量分配。

给水温度的调整对锅炉效率有着直接影响，过低的给水温度会导致燃料消耗增加和锅炉内部热应力上升，从而影响设备的使用寿命<sup>[9]</sup>。反之，过高的给水温度虽能提高效率，但可能导致省煤器出口水温过高，引发汽化问题。因此，应根据季节变化和和外

界负荷需求，适当调整给水温度，确保其在最佳范围内。汽包水位的精确控制对于确保锅炉在安全稳定的状态下运行扮演着至关重要的角色，因为水位的高低波动可能会引起蒸汽品质的下降，甚至可能触发锅炉爆炸的严重事故，因此，操作人员必须持续不断地对汽包水位进行监测，并通过调整给水泵转速以及进行锅炉排污等操作，以维持汽包水位的稳定，从而保障锅炉的安全运行。燃烧调整则是通过监测炉膛出口氧量、烟气温度等参数，调整燃烧器的角度、风速和燃料比例，可以促进燃烧的充分性，减少不完全燃烧损失，提高热效率，降低污染物排放。同样，风量分配对燃烧效果和污染物排放也具有显著影响，合理分配一、二次风量不仅能提升燃烧效率，还能降低氮氧化物排放。操作时应考虑锅炉负荷、燃料特性等因素，调整风量比例，确保燃烧的稳定性。

在优化锅炉运行参数的过程中，还需注意以下几点：

1. 定期维护设备，确保测量仪表精准可靠，这对于提供锅炉参数调整所需的精确数据至关重要，以保障运行效率和设备寿命。
2. 通过对锅炉各关键参数的实时监控，能够及时发现运行中的异常情况，并迅速采取相应的调整措施，防止问题扩大，保证锅炉系统的稳定性和安全性。
3. 加强对锅炉运行人员的专业技能培训，不断提升他们在参数调整方面的熟练度，确保他们能够精准、迅速地掌握和运用各项调整技巧，以优化锅炉性能，保障生产安全。
4. 积极进行技术交流，充分借鉴和学习行业内的先进经验和做法，不断优化和提升锅炉参数调整的技术水平，以实现锅炉运行的高效性和经济性。

### 三、火电厂锅炉燃烧控制与节能技术的发展趋势

全球气候变化和环境保护的挑战使得火电厂作为主要的能源消耗和污染物排放源面临着巨大的减排压力。为了应对这一

挑战，火电厂锅炉燃烧控制和节能技术的发展趋势受到了广泛关注。

锅炉的运行效率和节能效果是电力工业研究的重要领域，为了提高燃烧效率、减少能源消耗和污染物排放，研究人员不断探索高效燃烧技术。这包括对燃烧器的改进、燃烧过程的优化控制以及燃料和空气的精确配比等方面。通过这些技术的应用，不仅可以实现更高效的燃烧，降低能源消耗，还能有效减少污染物排放<sup>[10]</sup>。同时，锅炉在燃烧过程中会产生大量的余热。通过余热回收技术，这些余热可以被转化为热能或动力能。例如，用于供暖、洗澡等生活用水，或者用于锅炉的预热，从而减少燃料的消耗。余热回收技术的应用，不仅可以提高能源利用效率，还能减少能源浪费。另一方面，计算机技术和传感器技术的发展使得锅炉的智能化控制成为可能。通过实时监测和自动控制锅炉的运行参数，可以实现锅炉的自动化运行，精确控制燃烧过程。这不仅提高了锅炉的运行效率，也有助于节能效果的提升。

此外，为了适应不同的能源市场和环保要求，燃料多元化技术也是一个重要的研究方向。通过合理的燃料配比和燃烧控制，可以提高燃烧效率，降低能源消耗，同时，燃料多元化还可以提高火电厂的灵活性和可靠性。

### 四、结束语

火电厂锅炉燃烧控制与节能技术作为实现能源高效利用和环境保护的关键领域，在当今社会面临着巨大的挑战和机遇。目前，全球能源需求不断增长，环境保护意识日益增强，火电厂在追求经济效益的同时，也必须承担起社会责任，减少能源消耗和污染物排放。随着技术的不断进步和政策法规的支持，未来火电厂锅炉燃烧控制与节能技术将朝着高效、清洁、智能化的方向发展。通过技术创新和应用，火电厂将实现更高的能源利用效率，更低的污染物排放，并为可持续发展做出贡献。

### 参考文献

- [1] 张寅卯，张勇飞，卢鑫，等. 火电厂锅炉燃烧控制的调整技术分析 [J]. 电子技术，2022, 51(06): 238-239.
- [2] 同冬. 智能控制技术在火电厂应用研究现状与展望 [J]. 数字通信世界，2022, (01): 147-149.
- [3] 张鹏林，王俊超，韩磊，等. 300MW 锅炉燃烧系统优化控制技术研究 [J]. 自动化应用，2022, (05): 112-113+118.DOI: 10.19769/j.zdhy.2022.05.036.
- [4] 王伟. 火电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用方法探讨 [C] // 中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集（1）. 华电电力科学研究院有限公司西北分院；, 2022: 5.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.023722.
- [5] 郭向兵. 火力发电厂锅炉运行控制的节能策略研究 [J]. 当代化工研究，2021, (05): 163-164.
- [6] 陈忠汉. 节能降耗技术在工业锅炉运行中的应用研究 [J]. 清洗世界，2023, 39(09): 141-143.
- [7] 田宇，赵海燕. 锅炉技术在火力发电厂中的应用与研究 [J]. 当代化工研究，2023, (13): 111-113.DOI: 10.20087/j.cnki.1672-8114.2023.13.037.
- [8] 魏智邦. 大型供热锅炉节能改造技术的优化研究 [J]. 现代工业经济和信息化，2023, 13(06): 154-155+158.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.06.051.
- [9] 周秉一. 发电厂锅炉运行中的节能技术应用 [J]. 集成电路应用，2023, 40(06): 326-327.DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.06.144.
- [10] 马野，孙强. 节能降耗技术在电厂锅炉运行中的应用 [J]. 电站系统工程，2023, 39(02): 75-76+81.

# 电气试验中局部放电检测技术研究与应用探索

阿布都热依木·萨迪克

新疆喀什电盛有限责任公司，新疆 喀什 844000

**摘 要：** 为了确保电气试验的有效性，必须对试验过程中出现的缺陷进行全面的分析和研究。随着科学技术的不断发展，人们已经可以在很多方面实现自动化检测，这也大大降低了检测工作的难度。同时，为确保检测结果的准确性和可靠性，应采用多种手段对其进行综合分析，以便从本质上提高测量的精度。为此，本文对局部放电检测技术为研究对象进行了深入的研究，对其基本理论及特性进行了分析的基础上，对常用的几种方法进行了简要的阐述，并对今后的发展方向进行了展望。期望通过本课题的研究，能推动该技术在电网中的广泛应用，为电网的稳定与可靠运行奠定基础。

**关 键 词：** 电气试验；局部放电检测；研究与应用

## Research and Application Exploration of Partial Discharge Detection Technology in Electrical Test

Abudureyimu·Sadike

Xinjiang Kashgar Electric Sheng Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang 844000

**Abstract：** In order to ensure the effectiveness of electrical testing, it is necessary to conduct a comprehensive analysis and study of the defects that occur during the test. With the continuous development of science and technology, people have been able to realize automatic detection in many aspects, which also greatly reduces the difficulty of detection work. At the same time, in order to ensure the accuracy and reliability of the detection results, a variety of means should be used to comprehensively analyze them, so as to essentially improve the accuracy of the measurement. Therefore, this paper conducts in-depth research on partial discharge detection technology, analyzes its basic theory and characteristics, briefly expounds several commonly used methods, and looks forward to the future development direction. It is hoped that through the research of this topic, the technology can be widely applied in the power grid and lay the foundation for the stable and reliable operation of the power grid.

**Keywords：** electrical test; partial discharge detection; research & applications

## 引言

近年来，我国经济水平和科技发展都得到了显著提升，这使得电力事业获得了飞速发展，相应地对电力系统的安全性、稳定性及可靠性也提出了更高要求。而局部放电检测技术则是当前电气试验中比较重要的研究对象，它能够对相关工作人员提供有效的检测信息，同时还可以帮助人们全面分析电力系统中存在的问题。但是，由于受到技术条件以及设备因素的限制，现阶段的局部放电检测技术仍存在一些不足之处，这也给检测工作带来了一定难度。

## 一、当前电气试验中局部放电检测技术研究现状

### （一）局部放电检测技术的原理与应用概述

局部放电检测技术是对电力设备绝缘状态进行评价的重要技术，其原理主要是通过检测电气设备发生放电现象时产生的电磁波来判断放电位置。具体应用于电气试验中时，就需要采用适当的波形特征信号作为激发源，在高灵敏度检波器的作用下，再结合特定的数学模型对波形畸变信息进行分析，以此准确地确定放电区域。此外，还可以利用脉冲噪声法和载噪比来判别局部放电

发生的情况，这样能够有效避免虚假的放电信号干扰试验结果，具有较强的可靠性与准确性。

### （二）主流局部放电检测技术的分析

目前，电力系统中应用最广泛的局部放电检测技术是超声波法。这一技术主要包括两种方式：电容耦合式和脉冲反射式。其中，电容耦合式对电极之间采用不同材料构成，并利用电容元件实现测量；脉冲反射式则在电感线上增加了一个高频振荡器，其可以将放电信号进行放大。这两种方式均具有一定的局限性，因此当前更多学者开始关注基于现代数字信号处理技术的局部放电

作者简介：姓名：阿布都热依木·萨迪克（1974.11-），男，维吾尔族，籍贯：新疆喀什市，学历或职称：本科（助理工程师），从事的工作领域：电气试验。



检测技术。

### （三）局部放电检测技术的挑战与展望

随着电力系统规模的扩大，对电气测试中的局部放大问题的研究也越来越多。当前国内外的研究表明，局放信号的幅值、频率、位置等特征参量呈现出随机、间歇性的特点，使得其检测困难，不能满足当前的测试要求。在今后的研究中，需要充分考虑各种因素间的相互关系，对电路进行优化设计，提高信噪比，达到精确探测的目的。同时可以通过引入新算法、开发新技术，克服传统方法局限性，降低误检漏检概率，为电气试验提供技术支持。

## 二、电气试验中局部放电检测技术应用的意义

### （一）提升设备安全性与可靠性

在电力系统中采用局部放电探测技术，可以有效地减少在使用过程中出现的故障。这是由于局部放电在介质内发生后，将逐步向放电回路发展，放电回路的形成将导致介质绝缘特性的劣化，从而产生局部电流、电压和电晕等现象，最终引起电力事故。因此，电气试验中若能将局部放电检测技术合理应用到实际测试中去，则可以及时发现电介质内部存在的缺陷，从而减少和避免电气设备运行过程中因电介质缺陷而造成的各种故障。可见，局部放电检测技术的应用对于提高电气设备运行安全性与可靠性具有十分重要的意义。

### （二）优化设备维护与管理

电气试验是电力系统的重要环节，做好试验工作可以对电力设备的安全运行提供保障。由于当前科学技术的发展速度非常快，导致了电力设备在生产过程中使用的材料种类也越来越多，因此极易发生电气短路、漏电等情况，造成大量电能的浪费，甚至会引发火灾和爆炸事故，影响到人们正常的生产生活。为了有效降低上述情况的出现概率，必须加强对电气设备的维护管理工作。借助于先进的局部放电检测技术，电力系统管理人员能够对电气设备实施不间断的动态监控。这种技术允许他们及时识别出设备内部可能存在的问题，无论是绝缘老化还是机械故障等，从而迅速采取相应措施来修复或预防潜在风险。通过这种方法，可以显著提高电气设备的运行效率和安全性，确保电网的稳定与可靠供电。

### （三）促进技术创新与发展

局放探测是电网中一种重要的探测方法，可以对电网中的各种故障进行有效的探测。将局放探测技术用于电气测试，既能确保电网的安全稳定运行，又能为科研工作者提供相应的数据和数据，从而提升科学技术水平，推动电力企业的发展。在实际工作中，我们应要充分发挥局放探测的功能，保证电力系统的安全、有效地运行。这种技术的应用不仅能增强检测的准确性，还能为维护设备的完整性提供有力支持，从而保障整个电力行业的稳定与可靠。随着社会经济的发展，电力行业也会逐渐走向自动化、智能化，所以就需要对检测技术进行创新，这样才能跟上时代步伐。

### （四）保障电力系统的稳定运行

变压器是电力系统中的一种重要装置。作为电网的重要组成部分，它的稳定运行直接关系到电网的安全。而在电力测试中，局部放电探测技术是一种重要的探测手段，它能够通过探测到变压器的内部有无放电来判定其工作状态，对于电力系统的质量检验以及电力系统的安全运行具有重要意义。通过该技术对变压器进行测试，能够有效地发现变压器内部可能出现的故障，并且及时采取有效措施，保证变压器的稳定运行，降低安全隐患，保障电力系统的稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 三、电气试验中局部放电检测技术研究与应用中的难点

### （一）局部放电信号微弱，抗干扰能力差

局部放电现象通常是微弱而不显著的，它的强度和频率在没有达到足够高的阈值之前，难以被现代设备所察觉。然而一旦放电发生，便会释放出一些极其微弱的噪声信号，它们虽然微不足道，但对于捕捉和分析局部放电信号来说却是至关重要的。这些噪声信号由于其固有的低能量属性，不可避免地对原始放电信号的准确性产生了不利影响，使得数据处理过程中的稳定性和可靠性受到挑战。在这种特定的情形之下，若是依赖传统的检测手段来进行诊断，无疑会遭遇信息收集上的难题<sup>[2]</sup>。这样做可能导致电气试验的结果出现偏差，从而对整个试验过程造成不必要的干扰和延误。

### （二）放电机制与模式识别不匹配

局部放电信号的波形特征与放电机理有很大关系。电力设备在放电过程中，由于其内部介质的存在，会导致放电形态发生变化，如间隙放电和击穿放电。所以为了得到精确、可靠的测试结果，必须针对不同的放电机理，选用适当的测试手段。但是，当前该研究尚处于起步阶段，没有将局部放电机理与模式识别联系起来。因此，在某些情况下，有些测试方法不能准确地辨识出具体的放电形式，进而影响到测试的精度与可靠性<sup>[3]</sup>。例如，在某些情况下，由于被测物的介质损耗因子较大，局部放电信号呈现出明显的高频段干扰峰，而这种高频段干扰峰通常对应于间隙放电或闪络放电等高能量放电模式<sup>[4]</sup>。

### （三）现场环境和操作条件复杂

电气试验在现场进行时，所面临的环境因素往往异常多样和复杂，这些因素在试验中不断变化，造成了许多不确定性。这种不可预测性使得局部放电检测这一技术任务变得尤为艰难，因为它需要精确地分析和解读这些不确定信号。工程师必须具备高度的专业知识和丰富的现场经验，以确保测试结果的准确性和可靠性。而且由于不同电气设备的结构和运行环境存在差异性，对局部放电检测技术提出了更高要求<sup>[5]</sup>。因此，在进行电气试验时要根据现场环境特点，结合实际情况选择合适的检测方法。

### （四）局部放电检测技术的标准尚不完善

目前，国内还没有关于局放测试的国家标准或行业标准。为此，我们应该引起足够的关注，并尽快建立相关的标准体系，保



证电工测试工作的科学性和规范化，从而为电网的安全、稳定运行提供有力的保证。在电力设备测试中，局放测试是一种可靠的测试方法，然而，鉴于多种因素如资源限制、技术局限以及其他外在环境的影响，这种方法在实施过程中仍旧面临诸多挑战。因此，我们必须根据具体的实际情况，制定出切实可行的策略和方案，以便有效地克服这些问题，确保方法的顺利推进和成效的最大化<sup>[6]</sup>。

## 四、电气试验中局部放电检测技术应用的优化策略

### （一）精准化检测技术的引入

针对电气试验中电场发生局部放电现象，企业需要对其进行实时监控。为了有效提升电气试验中的局部放电检测效果，可将精准化检测技术引入其中，从而确保试验工作能够得到全面高效的开展。一方面，在实践中要对测试方法进行合理的选择，根据具体的条件，对各种测试设备和设备进行选择，构建一个精确化的控制平台，对数据信息进行全面的分析，保证各种数据信息的准确性。另一方面，应该使用更加先进的测试技术，从而确保测试结果的准确程度，达到相应的标准，从而防止由于测试不到位而造成的不良影响<sup>[7]</sup>。

### （二）智能化检测系统的构建

现阶段，在目前的电气测试中，采用的是人工测量方法。然而受多种因素的制约，使电学测试的结果受到人为的限制，从而使电学测试的结果不理想。为此为保证电气测试的质量与效率，需要建立一套可以实现对电能测试数据的自动辨识与分析的智能监控系统。具体来说，这一目标可以分解为以下几个步骤。首先建立一个功能全面且操作简便的数据分析平台，这个平台应当具备强大的数据分析能力，能够高效地处理各种复杂的试验数据。其次引入尖端的检测技术，比如超声波检测技术等前沿技术，这些技术能够提供更为精确的诊断结果，帮助工程师们更好地理解设备的性能状况<sup>[8]</sup>。最后引入智能算法，利用诸如神经网络技术或遗传算法等先进算法，可以实现对数据深度挖掘和分析，从而大幅提高电气试验的准确性和可靠性。通过这样的智能化升级，

不仅可以显著缩短试验周期，减少人为误差，还能有效降低试验风险，确保试验的安全性和有效性，为电力系统的可靠性和稳定性打下坚实基础<sup>[9]</sup>。

### （三）多维度检测方法的融合

虽然其可以对电气设备绝缘强度做出较为准确的判断，但是在某些方面却难以达到预期效果。因此要想实现该检测技术的有效应用，就必须加强对多种检测方法的融合。通过将各种检测方法融合为一体，能够让被检测对象的各个参数都能得到有效的保障，从而使测试结果更为精准。例如通过对同一型号的不同厂家的产品进行比较，如果两个产品的制造过程是一样的，那么它们的外放电频率和幅度等参数将会趋于一致<sup>[10]</sup>。但若是不同的生产企业所生产的同一型号的产品，则二者之间的数据就会存在较大差异，因为企业的工艺和管理水平会直接影响到产品的质量。只有充分考虑到这些因素，才能对试验结果作出准确的判定，并制定出最合适的处理方案，这样不仅能降低实验成本，还能提高工作效率，推动电气试验向更高层次发展。

### （四）持续的技术更新与人员培训

随着科学技术的发展，新技术、新设备不断涌现，其在电气试验中的应用也会越来越多。随着我国社会经济的发展，正在大力推进工业化进程，大量电力工程建设和电力设备投运，这也给电气试验带来新的挑战，对电气检测技术提出更高要求。因此，要保证局部放电检测技术能够顺利运用于实际工作中，必须加强对检测技术的更新以及人员培训，提升检测人员的技术水平，增强他们的专业能力。

## 五、结语

随着电力工业的飞速进步和技术的不断创新，电气试验作为确保电力系统安全、稳定运行不可或缺的工作环节，也日益受到重视。在电气试验中，局部放电检测技术具有非常广阔的应用前景。为了提高局部放电检测效果，相关人员应加强对该技术的研究与探索，以便更好地将其应用于实际工作中，来进一步推动行业的发展。

## 参考文献

- [1] 王晓文；钟晓宇. 电气设备局部放电检测方法综述 [J]. 沈阳工程学院学报 (自然科学版), 2017(04): 331-339.
- [2] 王伟杰；雍明超；何星骅；郭旭；姜睿智；刘洋. 变压器局部放电特高频传感器的研究与应用 [J]. 高压电器, 2023(08): 84-90.
- [3] 刘英男；李亚锦；苏宁；张婉莹；于大洋. 基于带电检测的变电设备差异化运维策略研究 [J]. 电工电气, 2021(09): 34-37+59.
- [4] 刘骥；闫爽；王守明；张明泽；李爽. 基于低频高压频域介电谱的 XLPE 电缆电树枝老化状态评估 [J]. 电工技术学报, 2023(09): 2510-2518.
- [5] 谢梓；陈俊星；郭志星；张沛. 基于随机森林算法的架空输电线路状态评价方法 [J]. 现代电力, 2020(06): 559-565.
- [6] 何维晟，吴照国，徐扬，等. 高压电缆终端局部放电超声信号传输特性仿真分析 [J]. 高压电器, 2023, 59(11): 48-55+64.DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2023.11.006.
- [7] 段昊，程林，罗传仙，等. 特高压换流变压器局放传输特性仿真研究 [J]. 变压器, 2023, 60(07): 45-50.DOI:10.19487/j.cnki.1001-8425.2023.07.006.
- [8] 项鑫. 固体绝缘环网柜局部放电分析与结构优化 [J]. 电工技术, 2023, (13): 207-210+224.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.13.056.
- [9] 徐藩. 光伏封装胶膜老化后的电子结构计算及性能表征 [D]. 西安理工大学, 2023.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2023.001951.
- [10] 焦裕鹏. 电力电缆超低频介损测量技术研究 [D]. 山东理工大学, 2023.DOI:10.27276/d.cnki.gsdgc.2023.000875.

# 浅谈电子电器产品能效检测的质量控制技术

高金法

山西省检验检测中心, 山西 太原 030000

**摘 要 :** 就目前而言, 我国资源能源紧张以及环境污染现象日渐加重, 为此需要创建科学发展观, 采用可持续发展战略, 由此可见绿色低碳以及节能减排为主要未来发展方向, 对于电子电器产品而言以电力资源作为主要能耗, 部分电子设备除能效外, 在应用过程中会出现有害环境的物质, 为此需要加大对电子电器产品能效检测的力度, 保证电子电器节能环保。

**关 键 词 :** 电子电器; 产品能效; 检测; 质量控制技术

## Discussion on the Quality Control Technology of Energy Efficiency Testing of Electronic and Electrical Products

Gao Jinfa

Shanxi Inspection and Testing Center, Taiyuan, Shanxi 030000

**Abstract :** For now, China's resources and energy shortage and environmental pollution phenomenon is increasing, so it is necessary to create a scientific concept of development, the adoption of sustainable development strategy, which shows that green low-carbon and energy saving and emission reduction as the main future development direction, for electronic and electrical products to power resources as the main energy consumption, some electronic equipment in addition to energy efficiency, Substances harmful to the environment will appear in the application process, so it is necessary to increase the energy efficiency testing of electronic and electrical products to ensure that electronic and electrical energy saving and environmental protection.

**Keywords :** electronic appliances; product energy efficiency; detection; quality control technique

对于电子电器而言需要对其进行能效检测, 从而保证产品自身的稳定性, 经过检查可以保证产品在实际应用过程中可以达到预期的性能, 在检测过程中还需要保证数据正确, 可以进行有效传输, 因此需要选择高效的数据传输方法, 规划检测流程、设备应用等, 保证误差在允许范围内, 同时还需要进行定期分析以及评估, 有助于发现问题及时解决, 在此过程中需要加强校准工作, 定期对检查设备进行校准验证, 可以获取更加可靠的数据。

### 一、电子电器产品能效检测质量控制意义

电子电器产品能效检测过程中节能管理和节能技术发展能够提升能源利用率, 为了完善节能管理工作, 各项工作均需要按照法律法规进行, 确保各项措施有效执行, 此外采用节能技术后可以提升能源利用率, 有助于可持续发展。电子电器产品能效检测可以正确判断电子电器产品性能, 保障在应用过程中可以达到预期的效果, 将电量消耗减少, 提升产品工作效能, 消费者在此过程中会获取更好的体验<sup>[1]</sup>。与此同时还需要落实能效标识制度, 有助于节能减排, 可以有效淘汰能耗较高的产品, 有助于产业结构的优化。并且消费者在购买电子电器产品过程中能效标识可以提供依据, 保证购买的产品具有良好的能效性能。

### 二、电子电器产品能效检测有关概述

#### (一) 确定检测工作开展目的

电子电器产品能效检测工作过程中, 主要目标则是通过科学以及正确数据分析对产品节能性能进行评估, 可以将其作为节能减排战略实施的关键, 并且可决定家庭电子电器是否能享受国家价格补贴的依据。伴随能效检测工作的深入, 可以保证有关数据具有实时性以及正确性, 将节能减排落实在实处, 并且对操作规范以及检测标准进行严格执行, 能够保证检测工作的有效性。顺利实施能效检测, 有助于电子电器行业的发展, 并且为民众提供合理产品指导, 经过能效检测消费者可以了解产品的性能以及价格比, 可以选择性价比高的产品。

## （二）能效检测开展的特点

电子电器产品能效检测工作核心则是保证产品节能性能符合有关标准，伴随节能减排战略的发展，对于高效节能家庭电子电器产品予以价格补贴，能够对消费者购买节能产品进行激励。对电子电器产品能效检测工作基本特征进行评价，需要考虑不同能量转变模式对于检测方法产生的影响，由于不同的能量转变模式在转换效率和能量损耗方面都有所不同，因此需要根据产品的具体性能和能耗情况选择合适的检测方法<sup>[9]</sup>。进行能效检测过程中，保证检测工作质量具有重要意义，其中包含检测设备的准确性和可靠性，同时还要保证检测人员的专业性，以此获取正确的检测数据，为加强能效提供有力支持。分析检测数据的中间量，分析数据后可以了解产品在不同工作状态下的能耗情况，将节能空间找出，以此提升产品能效。

## 三、电子电器产品能效质量检测内容

能效检测可涉及能源投入和实际消耗间的比值，因为不同电子电器产品的工作原理和能耗特点各异，为此能效检测方式以及参数同样有所不同。对于房间空调而言，能效检测一般选择空气焓值法，此方法需要对温度、流量和压力等参数对制冷量进行计算；对于洗衣机而言能效检测包含耗电量、耗水量、漂洗性能和脱水性等相关参数；显示器能耗检测需要对屏幕发光度进行测量，同时还需要检测有效面积以及输入功率等。实施能效检测过程中，如选择综合性测量装置，尤其是涉及较多的参数以及中间量测量等方法，整个检测过程会具有一定的复杂性，由于不同分量间可以相互关联，并且具有不确定性因素，会导致结果不正确。为此工作人员需要明确中间量、过程量与单一导出量之间的换算关系，严格按照相关规定标准进行操作，从而保证检测结果的准确性和可靠性。

## 四、电子电器产品能效检测的质量控制技术

### （一）明确技术特点

想要使检测工作顺利进行，且确保检测结果的正确性，实验室需要和实验室认可机构、产品认证机构等外部机构进行合作，以此提升自身的检测能力。对于内部质量控制技术而言，实验室需要创建完整的控制体系，确定检测流程、方法以及标准，检测过程需要符合相关法律法规，并且工作人员需要具有专业的知识技能，可以正确操作检测设备，对检测结果进行判断。外部质量控制技术则需要实验室和外部机构确保密切的交流，对要求进行了解和满足，认可机构以及能效标识管理部门需要评估以及监督实验室资质以及检测能力，为此实验室需要积极配合，提供相应的资料以及信息<sup>[3]</sup>。在实际应用过程中实验室应根据自身特点和检测需求，选择合适的质量控制技术，加强相关人员的培训和管理，保证质量控制技术的有效进行。同时实验室还应关注行业动态和技术发展，及时更新检测设备和标准，将检测效率和准确性提升。

## （二）以源头减少能效不达标产品销量

电子电器产品能效检测能够实现城市化建设，将能源资源节约，实现低碳目标，为此需要对检测过程进行监督，保证产品可以达到国家标准，为节能减排提供支持。对于节约能源方面而言，应采用边检查边宣传结合方法，结合检查和宣传，让大众对产品质量了解的同时，还可以了解到法律法规，并通过电视、广播以及各类信息平台，传播节能减排的意义，将社会环保意识提升。对于商家以及消费者而言，应宣传和节约能源有关的法律法规和强制性国家标准及能效标识产品目录等，使得消费者了解能效标识的重要性，将其作为购买商品的主要依据，有助于消费者节能型消费。对于厂家而言，需要加大普法教育力度，使其严格按照标准进行生产，并且和商家建立有效的交流机制，对生产情况进行了解，并予以相应的指导以及帮助，使得厂家生产产品符合国家标准。

### （三）加强内部质量控制技术

#### 1. 实验室能力配置

实验室能力配置对于能效检测而言，可以提升能效检测的正确性，保证检测人员自身专业知识水平较高，可以对不同的检测标准进行正确理解以及应用，并且还需要清楚的认知仪器设备要求、环境条件和样品处理流程，从而在检测过程中减少不必要的错误，保证检测结果正确。在创建测量系统的过程中需要按照能效检测具体需求进行，保证系统精密度符合要求，将检测效率提升的同时还可以为实验室能效质量控制提供保障。为此需要对实验室检测人员进行相关培训，从而应对能效检测中可能出现的挑战，并且还需要检查维护测量系统，使其处于最佳状态。

#### 2. 统计技术使用

在未来能效检测工作过程中，需要对统计技术的应用与研究加大投入力度，经过统计计算可以正确测量系统的持续水平以及稳定情况，对精密度波动和偏差波动进行监控，有助于及时发现并处理电子电器产品所存在的问题<sup>[4]</sup>。实验室质量控制图能够将质量变化情况进行直观的呈现，协助检查非随机因素干扰，能够在最短时间内发现告警信号，对于干扰原因查询具有一定的作用。

#### 3. 量值溯源确保针对性

现有的规程可能不能全面满足能效检测的特殊要求，例如虽然规定了0.5级功率表的电压量程额定值误差控制在 $\pm 2\%$ 左右，但在能效检测过程中，部分些特殊的测量点，例如能效待机功耗检测所使用的功率点，可能并不在规程的关注范围之内。对于此问题应选择针对性量值溯源，以校准主动的量值溯源方法可以保证能效检测的正确可靠性，并且对于获取校准证书需要结合约定精度，以此对判定工作进行严格要求，保证仪器设备符合检测原则，其中包含仪器设备的正确度、测量点和测量范围，当标准符合规定后确保电子电器产品安全可靠，在一定程度上保证了产品的质量。

### （四）外部质量控制技术

#### 1. 做好实验室现场核查和评审

在能效检测领域应用过程中外部质量控制技术能够保证检测



数据的信息可比性，尤其是实验室现场评审与核查，需要遵循有关通用要求，为了针对能效检测工作的共性要求，对于电源输出特性、不确定度评定等需要制定明确指导性文件，能够对实验室能力建设起到规范作用，制定不确定度评定的具体方法和步骤，对不确定度来源进行确定，同时明确评估方法和评估周期，确保实验室在不确定度评定方面的准确性和一致性。定期进行实验室现场评审与核查，确保实验室在设备、环境、人员等方面满足相关要求，并具备进行能效检测的能力，通过建立信息共享平台，促进实验室之间的交流和合作，将整体能效检测水平提升。

## 2.实验室之间的比对和能力验证

对于实验室从事特定检测和测量工作的人员需要具有相应的能力，并且可以进行评定工作，其中包含对检测、测量技术的熟练掌握，并且理解相关标准以及规范。与此同时对于实验室中出现的问题，需要进行正确识别，并予以相应的处理措施，而问题可能源自多个方面，例如测量程序不完善，人员培训不足以及设备校准不正确等，为此需要全面分析以及了解相关因素，保证可以找到问题的源头并予以解决<sup>[5]</sup>。和实际比对结果进行结合，并提升实验室检测能力，正确选择能效检测关键项目，并且对实验室检测能力进行评定，以合理的应用实验室比对能力验证方法，为了持续提升实验室的检测能力，需要定期对实验室的检测能力进行评定，通过实验室比对能力验证方法保证实验室的检测能力能够持续满足客户需求，并为客户提供正确的检测结果。

## （五）开展能效检查

需要确定监督检查范围，以所辖范围的超市、商场和专卖店等为主，同时在《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录》列入相关产品生产企业，而后制定详细的检查内容，对列入目录的用能产品是否办理能源效率标识备案情况进行检查，并且核对标注能效标识信息和备案信息是否相同，同时对能效标识样式规格进行审查，而后需要检查说明书以及产品标识上是否按照规定注明，是否正确使用法定计量单位。随后选择多元化检查方法，对销售单位和生产企业的产品进行现场检查，保证能效标识正确应用，并且查阅有关备案资料和产品说明书，核对信息确保一致，在此过程中可以对能耗较大的产品进行抽样检测，对能效水平进行验证。在检查过程中，需要增强对销售单位的监督，保

证能效标识检查制度有效实施，同时对生产企业进行技术指导，帮助其提高能效标识标注的准确性和规范性，对于违法行为需要加大力度进行查处。

## （六）电子电器产品质控控制

需要确定生产环境中相关责任，以规章制度来规范管理人员和工作人员的行为，确保每个环节都有明确的标准和责任，以此提升整体生产质量，在产品生产加工过程中，需要保证材料控制、工艺控制、产品控制等各个环节均能够落实到工作人员身上，以此加强工作人员的责任感，有助于及时发现并处理问题。对于电子电器产品进行出厂前的严格检测，需要对整个产品的质量 and 性能进行全面检测，确保和基准相符合，对用户的使用需求进行满足。同时通过对电子产品的总成配件进行质量检测，可以及时发现并解决潜在问题，降低成品生产过程中的不合格概率，检测到不合格产品时，需要记录该批次产品的相关信息，其中包含错误参数等，有助于及时发现问题，将生产过程进行优化，减少不合格产品的流通率。

## 五、结语

对于电子电器产品进行能效检测需要市场监管以及质量检查部门发挥相应的作用，以此提升总体检测质量。对于能效检测质量而言，作为电子电器行业发展中重要的环节，直接决定了电子电器产品的市场竞争力，同时关系到消费者的切身利益以及环境和能源的可持续发展，为此加强能效检测质量控制，提升检测水平是行业发展的必然趋势。与此同时，市场监管和质量检查部门需要履行职责，加大对于电子电器产品的市场监管力度，经过教育和引导，提升生产企业的质量意识和法律意识，使其自觉遵守相关法规和标准，确保产品能效达标。对于能效标识伪造、能效不达标的电子电器产品，应该加大监管和检测力度，以定期抽检、专项检查等方式，及时发现和查处违法行为，对市场秩序进行维护，保护消费者权益。并且在检测过程中还需要加强检测设备的维护和更新，确保检测过程的规范性和准确性，在实际操作过程中检测人员的专业水平以及能力同样需要提升，有助于电子电器产品能效检测技术的进步。

## 参考文献

- [1]徐旭东. 电子电器产品能效检测的质量控制技术[J]. 电动工具, 2024(01):4-6+9.
- [2]宋列棟. 浅谈电子电器产品能效检测的质量控制技术应用[J]. 轻工标准与质量, 2023(03):139-141.
- [3]王衍营, 唐丽媛, 胡晖, 等. 探究电子电器产品能效检测的质量控制技术[J]. 轻工标准与质量, 2022(01):56-58.
- [4]刘淑霞. 电子电器产品能效检测质量控制关键技术——以某住宅项目的平板电视产品为例[J]. 光源与照明, 2021(11):102-104.
- [5]孙增明. 电子电器产品能效检测的质量控制研究[J]. 大众用电, 2021, 36(05):34-35.



# 图像识别技术在电力施工现场安全管理中的应用

符铁辉

安能集团二局电力建设发展（厦门）有限公司，福建 厦门 361021

**摘 要：** 在当前科技发展速度不断提升背景下，图像识别技术被广泛应用于各领域中，并体现出较强有效性以及可行性。而该技术在电力施工管理中同样展现出巨大应用价值，其可有效提升现场施工安全管理成效。基于此，本文研究中将首先对图像识别技术进行分析，并对基于该技术的电力施工安全监管系统设计进行探究，同时对图像识别技术在电力施工中的应用要点进行分析。

**关 键 词：** 图像识别技术；电力施工；安全管理

## Application of Image Recognition Technology in Safety Management of Electric Power Construction Site

Fu Tiehui

The Second Bureau of Aneng Group Electric Power Construction Development (Xiamen) Co., LTD., Xiamen, Fujian 361021

**Abstract：** In the context of the rapid development of science and technology, image recognition technology is widely used in various fields, and reflects strong effectiveness and feasibility. And this technology also shows great application value in power construction management, which can effectively improve the effectiveness of site construction safety management. Based on this, this paper will first analyze image recognition technology, explore the design of power construction safety supervision system based on this technology, and analyze the main points of application of image recognition technology in power construction.

**Keywords：** image recognition technology; electric power construction; safety management

### 引言

随着电力行业发展水平不断提升以及电力施工项目持续深入，确保施工现场安全性已成为不容忽视的关键问题。然而需注意的是，传统安全管理手段受限于其滞后性和不精确性，难以满足对施工现场安全隐患进行即时、精准的捕捉与识别目标。在此背景下，图像识别技术成为电力施工现场的安全管理革新的必要手段。图像识别技术可依托于精度与响应速度优势，深入分析施工现场图像数据，洞察并揭示潜藏安全风险。其不仅可大幅提升安全监控效率以及准确性，同时也为电力施工安全管理开辟新路径。

### 一、图像识别技术概述

图像识别技术是人工智能领域的重要成果，其主要运用先进的计算机软件以及算法优势，对输入的图像进行深度剖析与精确处理。其核心目的在于揭示图像中隐藏的物体、场景及细微之处，该技术可为计算机视觉、模式识别及人机交互等前沿领域的发展注入强大的动力。该技术的基石在于特征提取，通过在纷繁复杂的图像信息中提炼出最具代表性的特征，随后利用比对、分类等精密手段，对其进行匹配与判断，从而实现对图像内容进行精准解读目标<sup>[1]</sup>。当前图像识别技术主要包括目标检测、物体识别、人脸识别及手势识别等。

当前图像识别技术应用广泛性较强，如在安防领域中，该技术可通过监控摄像头捕捉人脸与行为特征，进而大幅提升安全监控精准度与效率；在医疗影像领域，其可作为成为医生的得力助手，对医学影像进行自动分析，辅助医生快速准确地诊断病情；

在智能交通领域，车牌识别与交通标识识别技术得到广泛应用，同时为交通管理智能化、自动化提供必要技术保障<sup>[2]</sup>。

受深度学习与神经网络技术发展水平不断提升，近年来图像识别技术发展速度不断提升，尤其是卷积神经网络（CNN）技术发展，以其优秀的特征提取能力与高效的数据处理能力，为图像识别技术注入新活力。同时，传统算法如支持向量机（SVM）、决策树等也在不断优化与创新中，持续为图像识别技术发展提供必要支持<sup>[3]</sup>。

### 二、基于图像识别技术的电力施工现场管理监管系统设计

#### （一）电力施工安全监管系统整体设计

在电力施工中，为实现提升作业安全性能并大幅度降低事故发生率，首要且关键的步骤是深入细致地剖析可能引发事故的潜在风险及其根本原因。为此，技术人员应设计面向电力施工现场

的高效智能安全监管系统时，具体设计中必须确保系统可与电力企业的现有监测体系无缝对接，并融合进视频监控、红外线探测报警仪等先进监测技术<sup>[4]</sup>。此系统架构应涵盖四大核心组成部分：总控系统、监视设备、图像传输模块以及警报系统。

首先，技术人员应构建强大的总控系统作为系统中枢大脑，其主要发挥信息枢纽作用，切实保障各类数据可迅速、精准地在各个节点间流通，并与外部网络及数据库实现无缝对接。该设计可保障系统即时自动地处理并报警各类安全事件。

其次，根据电力施工现场具体布局以及安全需求，需精心部署一系列数量适中且分布合理的监视设备。相关设备应形成严密的监控网络，以此保障施工现场所有角落均可监控之下，不留任何安全死角<sup>[5]</sup>。

再次，在视频数据传输环节，系统应具备先进的图像传输技术，以实现实时捕捉并传输施工现场的清晰影像资料目的。同时，监控摄像头内置的高性能存储功能应将记录下的视频数据及时传输至计算机终端，以此为远程监控和人机交互提供必要支持。

最后，当安全监管系统检测到潜在安全隐患或实际发生的安全事故时，其应迅速根据风险等级启动相应警报机制。现场工作人员或是远程的管理人员均可即时接收到预警信息，从而可迅速采取恰当应对措施，有效遏制事态进一步恶化。该设计不仅可有效提高电力施工安全性，同时也可对事故及时处理和人员安全提供相应保障。

## （二）系统硬件设计

本文所研究的图像识别硬件系统主要由六大功能模块组成，其分别为：图像采集、目标识别、电源供应、视频展示、串口调试以及数据存储。

图像采集模块主要依托于高清摄像机对实时视频信号进行捕捉，相关信号随后会通过 ADV7181 视频解码器进行转换，从模拟信号转变为数字信号。随后数字信号即会被送入 DM642 处理器，并经过高效的图像识别算法处理。经过处理的图像数据再由 ADV7171 视频编码器进行编码，最终通过车载视频显示器呈现给用户；在数据传输方面，DM642 处理器主要配备外设接口，该接口与 UART（通用异步收发传输器）直接连接，使得系统调试更加灵活和方便。同时，DM642 主端口被设计为并行接口，以此为其与其他外部设备连接和扩展提供便利条件支持，进而实现提高系统集成度和扩展性目标。

ADV7181 作为该系统核心解码器，其优秀的视频解码以及图像转换能力可为图像处理提供相应技术支持。其可有效消除频谱混叠以及抑制口径颤动情况，并将复合视频信号解码为数字或像素信号，随后在高级扩展图形阵列中绘制清晰图像<sup>[6]</sup>。此外，ADV7181 还可对红、绿、蓝三色图形信号进行数字化处理，以此保障输出图像色彩准确性和清晰性。

本文所研究系统主要由标准处理部件以及成分处理部件两大核心部件构成。其中，标准处理部件主要承担图像数据获取以及预处理工作，而成分处理部件则主要承担图像变换以及增强。两者协同工作，共同实现了高效的图像识别与处理功能。

在电源供应方面，本文所研究系统主要采用 5V 供电方式，并采用两台半场效应三极管转换式供电模块，以此保障数字音频处理器核心及周边电路的精确性以及供电稳定性。TPS767D318\_

M 可为 ADV7181 提供所需的 1.8V 模拟电源以及数字电源，而 LDOIM1086 则可为 ADC7171 提供 3.3V 的电源供应。视频展示模块则主要依赖于 ADV7171 这一先进的视频编码器。该模块可将 DM642 处理器通过 VPO 端口输出的数字图像信号进行压缩和编码处理，进而将信号转换为电视机可接收以及播放的电视信号格式。如此用户即可通过车载视频显示器或其他电视设备来查看经过处理的图像<sup>[7]</sup>。

最后，在数据存储方面，该系统主要采用闪存以及实时动态内存（SDRAM）相结合的方式。闪存作为一种非易失性存储器，可为 DM642 处理器提供充足的数据存储空间，并允许用户快速访问相关数据。而针对 DM642 处理器内存有限的问题，系统还可通过外接 32 位 SDRAM 技术有效满足海量图像数据的存储需求。该存储方式不仅可有效提高系统数据处理能力，同时还可为用户提供灵活和便捷的数据管理方式<sup>[8]</sup>。

## （三）分模块功能设计

在电力施工安全管理系统核心模块主要包含前沿显示设备、高效智能分析服务器、大容量磁盘阵列、稳定交换机、坚固防火墙，以及高速 5G 通信模块。依托于合理布置的摄像头网络，该系统可全方位捕捉电力施工工地实时动态，详细记录施工人员具体作业场景。5G 技术在实际应用中可大幅提升数据传输速度，使高清影像可瞬间传递至服务器端，随后由磁盘阵列进行智能深度分析，最终以清晰画质呈现于显示屏上，有效实现施工监控智能化、即时化目标。同时，磁盘阵列在实际应用中还承担影像真实性验证职责，确保每一帧数据都准确无误<sup>[9]</sup>。

随着信息技术从 3G 到 5G 的飞跃，电力施工安全管理系统也迎来前所未有的革新。5G 技术的极速与稳定性特征，可为远程监控提供必要技术支持，不仅可有效跨越距离界限，同时也可实现多网络系统间的无缝衔接，确保监控系统可实现即时反馈与精准定位目标。相较于前几代通信技术，5G 在速度上实现巨大飞跃，可为高清视频无延迟传输提供必要支持，进而为电力施工安全管理筑起坚实的科技防线。

为实现此目标，该系统设计中精心部署 5G 信号全覆盖网络，确保施工现场以及监控中心间的数据通道畅通。同时，系统中配备的高性能交换机可有效应对多摄像头同时接入的挑战，进而实现对施工现场进行全面、高效监控目标。系统后台中集成监控工作站、服务器与磁盘阵列等先进设备，共同构建起强大的图像数据处理中心，以此保障数据的实时性、完整性与准确性<sup>[10]</sup>。

此外，该系统在实际设计中还引入图像对象检测算法，并将其嵌入智能解析服务器中。依托于高性能 CPU 支持，该算法可迅速对施工现场的安全隐患进行识别，如未穿戴安全护具等。一旦系统发现异常情况，会立即触发报警装置，并立刻通知安全管理人员采取相应措施。该功能不仅可有效提升施工现场安全防护水平，同时还可显著增强安全管理人员的应急响应能力，进而为电力施工安全管理注入新活力。

## （四）算法模型设计

在电网图像识别技术方面，技术人员引入一种创新监控策略，并在此基础上，构建出基于支持向量机（SVM）的数据融合框架。具体而言，该基于 SVM 的现场监控技术实施步骤具体如下：

1.色彩空间转换：首先，系统会将所捕获的视频帧从原始色彩空间（如YUV或其他）转化为RGB色彩空间，以此为后续色彩与图像处理工作开展提供必要条件支持。

2.三维图像分析：完成上述步骤后，即可利用XYZ三维空间对经过转换处理的RGB图像进行深层次处理与分析。该多维度处理方法可更全面地捕捉图像信息，进而为后续图像识别奠定坚实基础。

3.伽玛校正：为切实保障图像色彩准确性以及一致性，技术人员采用伽玛校正技术对图像色彩进行标准化处理。该步骤的主要目的在于改善图像的对比度，促使图像细节更加清晰，为识别工作开展提供必要支持。

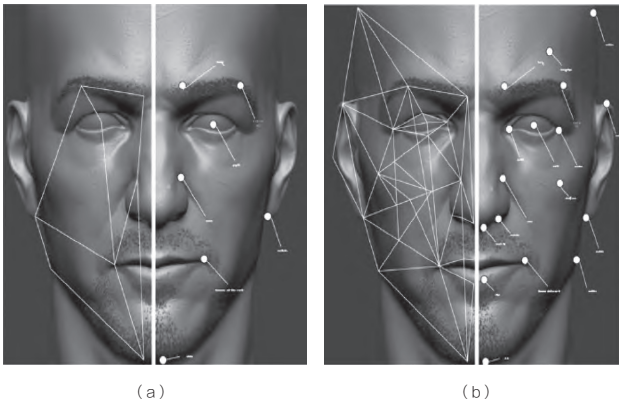
4.渐变处理：经过上述处理的图像进行渐变处理，根本目标在于进一步提升图像视觉效果以及识别性能。渐变处理可有效实现平滑图像中的过渡区域，进而最大限度地减少噪声干扰，使图像特征更加突出。

总而言之，该基于SVM的数据融合方法与创新监控策略相结合，可为电力施工图像识别领域提供高效、准确的解决方案。

### 三、图像识别技术在电力施工中的应用路径

#### （一）电力施工身份识别

在电力施工人员身份验证技术方面，通过深入对比，可得出如图1所示新兴图像识别技术以及传统验证手段在应对干扰因素方面的表现成果。



> 图1 身份检测技术检测结果

由图1中所示结果可以发现，图1（a）中所示传统验证方式在面对外界干扰时表现较为脆弱，尤其是在人脸特征识别环节，其精准度与清晰度均呈现出大幅下降，导致其最终识别结果模糊，难以有效准确确认施工人员身份。

而相比之下，图1（b）中所示基于图像识别的身份验证技术则展现出较强优越性。该技术可对电力施工人员的人脸细节进行精准捕捉，即使是在复杂多变的环境中，也可有效实现高效且精准的身份验证。该技术优势不仅可大幅提升验证精准度，同时还可显著增强系统抗干扰能力。

将图像识别技术应用于电力施工现场的身份验证流程中，不仅可显著提升系统抗干扰性能，还可与施工现场安全管理体系进行无缝对接。通过对施工人员的身份进行实时、精确地验证，可有效强化施工现场安全管理力度，进而降低潜在安全隐患，为电

力施工安全顺利进行提供坚实保障。

#### （二）对电力施工人员违规行为进行检测

当前安全检查模式在效能发展方面已陷入瓶颈，此主要受制于人为因素导致的误差以及检查频率局限性影响。为此，而利用基于图像识别技术的安全检测系统，可有效实现对电力施工现场进行自动化、即时化监测，进而显著提升检测效率与准确性。

该系统主要运作机制为：首先，依托摄像头等图像采集设备，对施工现场清晰画面进行实时捕捉，并即时传输至后端处理系统。随后，系统会对所接收到的图像进行精细化预处理，具体内容包括图像压缩、噪声滤除等，以保障图像质量不断优化，为后续分析奠定坚实基础。

在完成预处理后，系统即可利用先进的图像识别算法，对施工人员及其所穿戴装备的关键特征进行精准提取，如安全帽的颜色、形状以及工作服的款式等。通过对相关特征进行分析，系统可智能识别施工人员身份，并自动判断其是否严格遵循安全规范，佩戴规定要求的安全装备。

一旦系统检测发现任何违规行为或安全隐患，会立即生成相应检测报告，并将结果迅速反馈给监控中心或相关责任人员。该即时的信息反馈机制，进而有效保障问题可得到迅速响应与妥善解决，进而有效提升施工现场的安全管理水平。

更值得一提的是，当图像识别技术与智能分析、大数据等前沿科技深度融合时，电力施工的安全检测将迈入一个全新的智能化时代。系统不仅能够实现更为精准、高效的安全监测，还能通过大数据分析，预测潜在的安全风险，为施工现场提供更为全面、深入的安全保障。

### 四、总结

综上所述，图像识别技术在电力施工现场安全管理中发挥重要作用，其可有效提升人员身份识别与行为监控有效性，进而为提升电力施工成效提供必要保障。

### 参考文献

- [1]肖天龙，宫培松，郭圣煜，等. 基于机器视觉的施工现场安全隐患识别应用研究[J]. 工程管理学报, 2023,37(3):120-124.
- [2]顾海花. 人工智能时代计算机图像识别技术在建筑工程管理中的有效运用[J]. 建筑科学, 2021,37(11):1.
- [3]李敏. 电力建设安全规范化管控系统设计[J]. 能源与环保, 2022,44(12):225-230.
- [4]李文彬. 基于图像识别的电力作业现场安全监督方法研究[J]. 模型世界, 2020(20):43-45.
- [5]卫程. 基于5G技术的电力营销安全智能化现场作业系统研究[J]. 电工电气, 2021,(011):63-67.
- [6]姜旭东，宋本扬，杜泽永，等. 基于图像识别技术的龙溪口航电工程智能视频监控系统设计[J]. 水运工程, 2023(10):183-187.
- [7]王兴龙，孙飞，程甫，等. 提高电厂设备图像识别准确率的研究[J]. 电力设备管理, 2022(23):179-181.
- [8]钱志杰，胡恩德，周冬成，徐建锋，李海栋. 基于图像识别的电力安全工器具智能管理系统设计[J]. 中国信息化, 2021, (12): 53-54.
- [9]颜廷良. 基于机器学习和图像识别的电力作业现场安全监督[J]. 光源与照明, 2021, (06): 147-148.
- [10]陈润彬. 基于图像识别的电力工人智能安防安全检测系统研究[D]. 广东工业大学, 2021.



# 核电汽轮机顶轴油泵常见问题及处理

武书安

台山核电合营有限公司, 广东 台山 529228

**摘 要 :** 介绍了核电汽轮机附属顶轴油泵(高压柱塞泵)的系统设备原理、运行方式及常见故障,着重介绍了顶轴油泵调试和运行过程中出现的故障及处理,并提出了顶轴油泵入口管道在安装和调试过程中需注意的问题,为同类型顶轴油泵的安装、调试和运行管理提供了有益的参考。

**关 键 词 :** 顶轴油泵; 问题处理; 压力波动

## Common Problems and Treatment of Jacking Oil Pump for Nuclear Power Steam Turbine

Wu Shu'an

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., LTD., Taishan, Guangdong 529228

**Abstract :** This paper introduces the system equipment principle, operation mode and common faults of the top shaft oil pump (high pressure pump with high pressure piston pump), emphasizes the faults and handling of the top shaft oil pump, and puts forward the problems to be noted in the installation and debugging of the top shaft oil pump inlet pipeline, which provides a useful reference for the installation, debugging and operation management of the same type of top shaft oil pump.

**Keywords :** jacking oil pump; problem handling; pressure surge

### 前言

汽轮机顶轴油系统的主要作用是在汽轮发电机组启动、停运及低转速时向各轴承提供高压油,将转子顶起,以减少摩擦和降低盘车电动机的启动转矩,避免汽轮机在低转速过程中轴颈与轴瓦之间的干摩擦,保证设备安全,同时将轴瓦产生的部分热量带出。核电汽轮发电机组具有进汽蒸汽参数低、比热容大的特点,启机前启动顶轴油系统进行盘轴,可确保转子受热均匀,避免转子发生弯曲、变形,目前核电机组容量不断增大,部分大容量核电机组的轴系由1个高中压合缸、若干个低压缸及发电机转子组成,故较其他机组重量更大,顶轴油系统的作用也显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

本文将主要介绍某核电站汽轮机配套顶轴油泵的结构原理及调试、运行过程中油泵故障原因和处理方法。

### 一、顶轴油泵结构及工作原理

#### (一) 顶轴油泵结构

顶轴油泵制造商为德国力士乐,属于轴向斜盘式柱塞泵,型号为A11VO190DRS/11R-NPD12N00,由压力控制和带负荷传感控制,主要结构有柱塞、斜盘、缸体、壳体、配流盘、回程盘、压力控制阀、负荷传感控制阀等部件组成<sup>[2]</sup>。

#### (二) 顶轴油泵工作原理

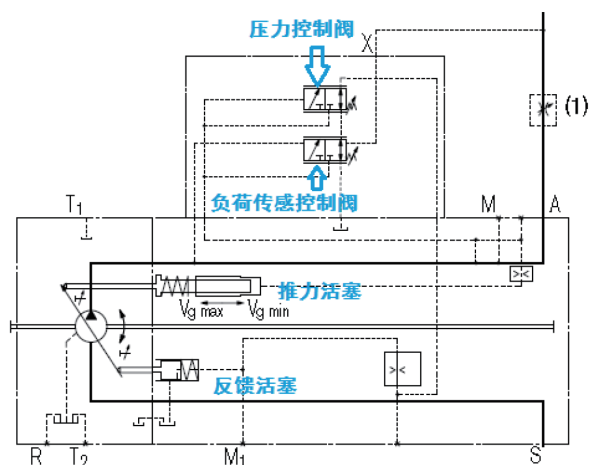
顶轴油泵为DRS压力控制,带负荷传感控制的功能,但一般出厂时泵厂家根据现场实际情况把负荷传感控制阀调整螺钉调到最大,负荷传感控制阀阀芯左移并始终保持不变,失去流量控制功能。当负载压力高于设定的起跳压力时,压力控制阀阀芯右移,压力油通过压力控制阀进入反馈活塞杆,推动斜盘角度减小

至0,系统流量接近于0;当系统压力小于设定的保护值时,压力控制阀阀芯左移,反馈活塞液压力泄回油箱,斜盘在推力活塞作用下,斜盘角度被推至最大值,此时泵排量达到最大,压力可以稳定在设定的压力范围内的任意值,流量保持不变,压力由负载决定。如图1所示。

该机组顶轴油泵按照设计设定的压力值为285bar,流量为242L/min。从油泵工作原理分析,此类型油泵斜盘角度只有两种状态,最大、最小。当系统压力值小于设定值285bar时,斜盘角度始终保持最大值,系统流量恒定,当系统压力值达到285bar时,斜盘角度变为0,系统流量为0。其次,顶轴油泵额定流量由斜盘角度决定,系统额定流量设定为242L/min小于油泵最大排量290L/min,因此需要对斜盘角度限位螺钉进行调整,减小斜盘可以达到的最大角度值,从而满足现场系统的流量要求<sup>[3]</sup>。

作者简介:武书安(1983.2-),男,汉族,山东省菏泽市,工程师,大学本科,电力生产:汽轮发电机及油系统检修。





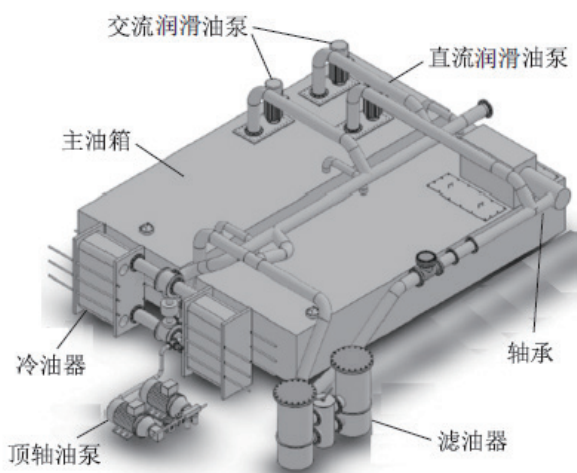
> 图1 顶轴油泵控制回路示意图

## 二、顶轴油泵调试及运行过程中几个典型故障及处理

### （一）顶轴油泵喘振并伴有较大的异音

工程调试阶段，当润滑油泵和顶轴油泵同时运行时，顶轴油泵出现喘振并伴有较大的异音。此问题不仅影响现场工作的开展，长期运行还可能导致顶轴油泵损坏。因此，从根本上解决异音问题，对保护机组安全运行具有重要意义。

该核电站汽机润滑顶轴油系统布置如图2所示，系统主要由交流润滑油泵、直流润滑油泵、顶轴油泵、冷油器、温控阀、滤油器及油管路等设备组成，润滑油泵和顶轴油泵均从润滑油主油箱取油，经过套装油管供油至各轴瓦。顶轴油泵单独运行状态良好，泵运行噪音、振动、出口顶轴油压均正常；当同时启动润滑油泵，顶轴油泵将出现间歇性的类似金属撞击异音，同时出口压力伴随小幅波动。顶轴油泵异音的频繁出现将会加重泵体损耗，导致零部件损坏，缩短顶轴油泵的使用寿命。



> 图2 润滑顶轴油系统布置示意图

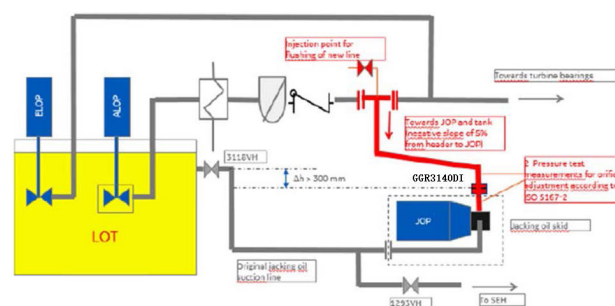
顶轴油泵取油来自润滑油主油箱供油，在辅助润滑油泵运行情况下，供油至轴承的油液回流到主油箱，给油箱中的油液带来了大量气泡。分析顶轴油泵异音的来源，通过现场试验证明润滑油回油撞击油面而产生的气泡是导致异音的根本因素。顶轴油泵从主油箱吸取含有大量气泡的润滑油后出现喘振，并伴有异常噪

音。出现此故障的原因主要是泵体内积聚了大量气体，在泵运行时气体无法排出，在泵内出现反复压缩爆破产生异音并且泵体出现喘振现象<sup>[4][5]</sup>。

针对此故障可通过减少泵入口气体含量解决。该电站通过提高顶轴油泵入口压力及改造入口管路坡度来降低气泡的聚集度，进而达到消除异音的目的。具体措施主要包括以下部分：

- 1) 从双联滤油器的出口管道（润滑油母管）新增吸油管道，接入顶轴油泵吸油管道，润滑油母管内润滑油已经过润滑油辅助油泵加压且从油箱底部取油。
- 2) 新增顶轴油泵入口管道上设置节流孔板（ $\Phi 15\text{mm}$ ），确保润滑油母管油压满足系统要求。

改造原理见图3。



> 图3 顶轴油泵入口油管改造示意图

### （二）顶轴油泵出口油压异常波动

该核电站1号机组大修下行期间，在机组解列前提前启动顶轴油泵双泵。运行启动双泵运行7分钟后顶轴油泵出口压力出现波动，运行15分钟后触发跳泵逻辑；现场更换泵出口调压阀后压力波动仍然存在。在汽轮发电机组打闸后，顶轴油泵出口压力大幅波动，其中2号泵出口压力到达最低152bar，触发泵出口压力低于200bar跳泵逻辑而跳泵，通过手动启动按钮重新启动2号泵（共发生两次跳泵），当汽机转速降低至567rpm后顶轴油泵出口压力趋于稳定，盘车转速下顶轴油泵出口压力稳定，未出现压力波动情况<sup>[6]</sup>。

针对此故障通过现场实际流量测量及《管道限流孔板的设置》流量计算公式进行理论计算，得出原因是调试时新增顶轴油泵入口管道上节流孔板孔径 $\Phi 15\text{mm}$ 时，节流孔板前在母管油压2.15bar情况下，流量仅137.85 L/min，不能满足单台顶轴油泵流量242L/min的设计要求，不足的流量需要通过主油箱取油，由于主油箱中润滑油含有气泡，含气泡的油被大量吸入顶轴油泵后，泵产生剧烈的压力波动和喘振<sup>[7]</sup>。

此故障通过以下措施解决：

- 1) 结合现场流量测量及原设计要求，应在1.5bar压差状态下，满足孔板流量 $\geq 242\text{L/min}$ 的要求。经过计算，将节流孔板孔径由15mm扩大至23.86mm，对应孔板流量为260L/min。扩大孔板孔径可以减少/避免顶轴油泵从润滑油主油箱侧取油量（此取油口为气泡密度/体积较高区域）。
- 2) 降低润滑油主油箱负压。主油箱负压高会导致泵吸入压头不足。
- 3) 在标准范围内降低主油箱母管油压。母管油压降低会减小

进汽机轴瓦的润滑油流量和循环倍率，流量减小会减少气体进入润滑油，而循环倍率减小则增加油液在油箱内停留时间，有利于油液内气体析出。

### （三）顶轴油泵泵体振动高

该核电站顶轴油泵在运行过程中出现过振动高问题，振动最大达到21mm/s，顶轴油泵振动高对顶轴油泵运行及机组启停机带来重大影响。出现此故障的原因主要是顶轴油泵基座产生共振、泵运行时泵体内气体聚集引起的喘振以及顶轴油泵内柱塞运动不畅<sup>[9]</sup>。

根据现场实际情况锁定故障点，针对故障点通过以下措施解决：

1) 调整顶轴油泵基座，检查接触是否有虚脚，在两地脚之间增加支撑，改变泵的固有频率，避开不同流量工况下的共振区间。

2) 针对泵内气体聚集引起的喘振，则需要提高泵入口压头，尽量减少泵入口有不凝结气体进入，特别是更换新泵要进行充油排气操作。

通过采取以上措施，成功解决了顶轴油泵在运行过程中出现过振动高的问题。

### （四）顶轴油泵出口压力逐渐降低

该核电站汽轮机顶轴油泵长时间采用双泵运行方式，主要是因为单泵运行时如出现故障，另一台泵启动时间会超过设计要求的时间。在设备调试初期就采用双泵同时运行的逻辑，但顶轴油管道均是按照单泵运行的流量进行设计，在双泵运行的情况下会造成一台泵憋压。根据现场运行经验，一直憋压的泵会出现泵出口压力逐渐降低的现象<sup>[9]</sup>。

针对此故障可对顶轴油系统进行优化改变泵自身运行状况，主要通过以下措施解决：

1) 优先解决顶轴油泵双泵运行问题，通过逻辑优化或加装蓄能器使顶轴油泵切换时切换时间合格；

2) 优化顶轴油泵运行逻辑，在机组日常运行期间或启停机时采用双泵运行，在大修期间汽轮机盘车转速下可手动启动单台顶轴油泵运行，尽量减少双泵运行时间；

3) 一般出现顶轴油泵压力逐渐降低时，都和顶轴油泵的调压阀有关，在每次大修时对顶轴油泵调压阀进行更换，可避免发生

故障的频率。

## 三、新电厂顶轴油泵安装调试注意事项

对于新电厂而言，如果在设计、安装及调试的过程中能提前对顶轴油泵系统进行科学合理的优化，可以避免很多“雷区”，使得顶轴油系统在机组商运后平稳运行<sup>[10]</sup>。

总结该核电站机组顶轴油泵调试和运行经验，提出如下几项建议：

1) 在设计阶段，顶轴油泵入口取油有必要设计两路取油点，一路来自油箱，在汽轮机盘车转速或低转速时，润滑油主油箱含气量较运行时相对较少，顶轴油泵不会出现喘振现象；一路来自润滑油母管，在汽轮机日常顶轴油泵试验或机组启停机时，母管取油经过加压可有效避免气体进入顶轴油泵。

2) 在设计阶段，对顶轴油系统流量进行合理规划，特别是取油点流量、轴瓦需求流量以及顶轴油泵设计流量等关键参数，充分考虑相互影响，保持较大安全余量。

3) 目前润滑油主油箱内部一般都采用多层隔断且设置有回油区和吸油区，设计要求实现润滑油回油在油箱中呈“S”型流动，主要作用是减缓回油流速，使回油中不凝结气体最大限度的被油烟风机抽走。因此，顶轴油泵在润滑油主油箱的取油口应尽量设计在吸油区交直流润滑油泵附近，此处润滑油含气量最小。

4) 顶轴油泵配置及启动逻辑方面，尽量做到一备一用或两备一用，调试时关注和解决顶轴油泵切换超时问题，避免出现多泵同时运行。

5) 安装时对顶轴油泵基座进行科学调整，避开油泵各工况下共振区间，必要时增加顶轴油泵支撑。

## 四、结语

德国力士乐柱塞泵在国内电厂润滑顶轴油系统应用广泛。本文通过对德国力士乐柱塞泵结构原理及某核电机组调试、运行过程中顶轴油泵出现故障原因和处理方法的介绍，为新电厂顶轴油系统的设计、安装调试和运行维护提供一定的参考。

## 参考文献

- [1] 卢扬, 周林林, 李松海, 等. EPR 机组汽轮机顶轴油泵运行异音问题研究与处理. 大亚湾核电. 2020 (2): 42-45.
- [2] 郭允, 潘国辉, 高海平, 等. 液压系统噪声的分析与控制 [J]. 液压气动与密封, 2003 (6): 24-25.
- [3] 徐仕海, 邓晓晖, 李诚. 百万核电汽轮发电机组顶轴油泵振动问题处理 [J]. 东方汽轮机, 2015, (03): 56-58+74.
- [4] 郑文杰. 汽轮机顶轴油系统振动分析及处理 [J]. 机电信息, 2020, (20): 9-10.
- [5] 许森, 叶昊东, 吴尚泽. 顶轴油泵一用两备控制策略及逻辑解析 [J]. 东北电力技术, 2020, 41(05): 60-62.
- [6] 谢尉扬. 汽轮机顶轴油系统及相关问题研究 [J]. 汽轮机技术, 2016, 58(03): 223-225.
- [7] 林志勇. 一起顶轴油系统异常事故分析 [J]. 科技风, 2015, (05): 6.
- [8] 陈鑫, 丁超, 张耀华. 汽轮机顶轴油系统调试方法及常见问题分析处理 [J]. 冶金动力, 2018, (08): 53-54+57. DOI:10.13589/j.cnki.yjdl.2018.08.017.
- [9] 张瑞山, 王宏伟, 葛智平, 等. 330MW 汽轮机组调试过程中顶轴油系统出现的问题及处理 [J]. 中国电机(技术版), 2015, (12): 81-82.
- [10] 潘伟. 顶轴油管断裂导致 #1 机 #4 轴承烧瓦的故障处理及分析 [J]. 应用能源技术, 2013, (11): 18-20.

# 主给水泵转速自动控制器故障原因分析

戴勇

大亚湾核电运行管理有限责任公司，广东 深圳 518000

**摘 要：** 核电厂二回路给水系统是为了给蒸汽发生器提供冷却水，导出反应堆热量，水转换为蒸汽，去往汽轮发电机做功发电，其中主给水泵调节系统尤为重要，本文针对某电厂出现的3号主给水泵转速控制系统故障的原理、现象及原因进行论述，分析故障的机理及原因，并针对可能原因进行排查，有利于后续同类故障时，机组控制及原因分析。

**关 键 词：** 主给水泵；转速控制系统；自动控制器；勺管位置驱动器；CPU软硬件

## Analysis of Speed Automatic Controller of Main Feed Pump

Dai Yong

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** The second circuit water supply system of nuclear power plant is to provide cooling water for steam generator, export reactor heat, water conversion into steam, to steam turbine generator do power generation, the main feed water pump regulation system is particularly important, this paper discusses the principle of 3 main feed water pump speed control system in a power plant failure, phenomenon and reason, analyze the mechanism and cause of the fault, and is conducive to the subsequent similar fault, unit control and cause analysis.

**Keywords：** main feed water pump; speed control system; automatic controller; spoon pipe position driver; CPU hardware and software

## 引言

2023年8月，国内某电厂出现3号主给水泵转速控制系统故障的报警和相关仪控报警，主控发现正在运行的一台主给水泵转速下降，立即手动启动备用状态的主给水泵并停运故障运行的主给水泵，期间监视蒸汽发生器水位稳定。后续电厂仪控人员现场检查发现故障主给水泵的自动控制器 SLC500 上 CPU “RUN” 灯熄灭、“FLT” 灯点亮，两块数字量输出板件无输出信号，就地面板显示与 SLC 通讯失去，交换机与 SLC500 连接端口（蓝色网线）指示灯灭，故障主给水泵的转速控制已自动无扰切为手动控制器（S7-200）控制<sup>[1]</sup>。

## 一、风险描述

主给水泵自动控制器故障后自动无扰切换置手动转速控制，无法跟随来自蒸汽发生器水位变化的外部设定值变化，需主控操纵员手动控制；主给水泵转速控制系统故障可能影响其供水能力，增加核电厂丧失主给水始发事件的概率，蒸汽发生器正常给水丧失导致二回路排出反应堆堆芯释热的能力减弱；需要主控操纵员快速响应和手动控制，存在控制不及时导致蒸汽发生器水位低低或者高高，存在跳机跳堆的风险<sup>[2]</sup>。

## 二、系统原理

核电厂二回路冷却水回路基本原理如下：凝结水泵将经过低加、除氧器和高加加热除氧后的凝结水通过主给水泵可控地送往三台蒸汽发生器。主给水泵和主给水阀系统负责控制向蒸汽发生器的供水量，以获得与汽机功率所决定的蒸汽发生器二次侧水位

参考值相一致的蒸汽发生器的二次侧水位。

### （一）该核电厂蒸汽发生器主给水泵的控制原理

所谓主给水泵转速控制，就是通过调节液力联轴器输入输出转速比控制压力级泵转速，继而调节给水压力。主给水泵转速控制的目的是保证蒸汽发生器的给水母管和蒸汽母管之间的压差等于一个随负荷变化的整定值，以便维持给水流量控制系统调节阀前后压差近似恒定，从而消除三台蒸汽发生器水位调节过程中的相互耦合影响，便于水位控制。

给水泵转速控制可分为两个部分

#### 1. 给水泵转速整定值

蒸汽母管和给水母管的实际压差测量值与压差整定值偏差经比例积分调节计算出给水泵转速整定值，用以控制三台给水泵的转速。若控制器失效或根据需要，操纵员可分别手动控制三台给水泵转速。手动控制时，ME 跟踪记忆手动值，以便手自动实现无扰切换。

压差整定值根据三台蒸汽发生器蒸汽流量由函数发生器产

作者简介：戴勇（1982.12—），男，汉族，湖南省涟源市，大学本科，工程师，从事核电运行技术研究。



生, 低于20%额定蒸汽流量时, 压差整定值为0.42MPa, 蒸汽流量在20~100%额定流量时, 压差定值在0.42~0.94MPa线性变化。每台蒸汽发生器配置两个流量表测量, 经压力校正后, 再高选参与压差整定值生成<sup>[3]</sup>。

主控操纵员根据需要手动设置压差整定值, 410ME跟踪记忆手动定值, 便于手自动无扰切换。

## 2. 主给水泵转速调节执行机构

调节器产生的泵转速定值信号(4~20mA)送至给水泵液力联轴器转速调节执行机构, 改变液力联轴器的输入输出转速比, 继而实现压力级泵的转速调节。

## (二) 整个主给水泵调节环节中, 其转速控制原理

1. 转速控制器由 SLC500 自动控制器与 S7-200 手动控制器构成; SLC500 控制器实现 APA 泵转速的自动闭环调节, 在机组正常运行时, 都由 SLC500 实现主给水泵的转速控制; S7-200 手动控制器实现主给水泵转速的手动控制, 该控制器主要在泵启停阶段使用。

2. SLC500 自动控制器的转速设定值自动状态时, 来源于 ARE410KU; 手动状态时由操作员手动给出。S7-200 自动控制器的转速设定值由 301RR 给出, 301RR 的手自动切换实现 SLC500 与 S7-200 之间的切换, 通过就地机柜内的继电器实现; 301RR 的 Raise/Lower 实现操作员手动调节 S7-200 控制器的设定值。

3. 此次故障发生时, SLC500 控制器自动切换至 S7-200 控制器, 缺省逻辑设置起作用, 自动控制板件故障后无扰切换至手动控制并触发报警, 切至手动切换后转速不再随自动转速定值变化。

## 三、SLC500 自动控制器原理介绍

SLC500 控制器的电源模块 A200、CPU 板件 A201 及 I/O 板件 A202/203/204/205/206/A207 安装在同一个背板机架架上, A201 通过背板机架上电路与 I/O 板件 A202/203/204/205/206/A207 进行数据传输。正常运行时, 现场数据通过模拟量和开关量板件采集转换后送到 CPU 运算, CPU 通过模拟量和开关量板件输出 PLC 指令控制现场设备动作; 当 CPU 停运时, 现场数据仍能通过模拟量和开关量板件采集转换后送到 CPU, 但 CPU 无法通过模拟量和开关量板件输出 PLC 指令。

## 四、S7-200 控制器原理介绍

S7-200 控制器主要功能是实现核电厂主给水泵的手动调速过程。其模拟量输入板接受来自 DCS 的 OM 中手动升速/降速信号和由勺管位置传感器反馈来的位置实际值。在 CPU 板件中处理计算, 得到勺管位置的设定值。正常运行状态下, 调速系统为自动状态, VEHS 接受来自 SLC500 的勺管设定值信号; 若是调速系统出现“FAULT”信号或是出现 OM 中调速系统打到手动状态, VEHS 接受来自 S7-200 的勺管位置设定值<sup>[4-5]</sup>。

## 五、勺管位置驱动器 VEHS 控制原理介绍

电液耦合器位置控制器 (VEHS) 采用电磁工作原理, 使用 24VDC 供电, 用于对调速耦合器的勺管位置进行精确和连续的控制, 改变调速耦合器内充油量, 实现机械转动设备的可变速度调节。

VEHS 的构成主要包括如下部分:

**PID 调节电路:** PID 调节电路用于将主控制器给出的勺管位置设定值和勺管位置反馈器反馈的实际勺管位置的偏差值, 经 PID 调节送到电磁力调节器

**电磁力调节器:** 用于将经 PID 调节电路给出的电流信号转换成电磁力, 控制 3/4 阀的阀芯位置。

**3/4 阀:** 用于液力耦合器勺管活塞上下腔的进油排油, 改变勺管联动活塞的位置, 从而调节勺管位置, 实现耦合器的速度调节。

**机械手轮:** 用于手动将勺管置于最大位置 (100%) 和最小两个位置 (0%), 机械手轮只能将勺管置于这两个位置。

**微波位置传感器:** 采用微波方式, 实现勺管实际位置的测量, 根据勺管对应的 0% ~ 100% 位置, 反馈 20 ~ 4mA 电流信号, 需注意的是: 对应勺管 0% 位置, 传感器反馈 20mA 到 VEHS, 对应勺管 100%, 传感器反馈 4mA 电流信号到 VEHS。

**VEHS 工作原理:** 根据 PLC 程序送出的勺管位置设定值和位置传感器反馈的实际位置设定值偏差值经 PID 调节后控制 4/3 阀阀芯的位置, 改变勺管活塞两侧腔室的充油量, 进而改变活塞位置, 带动勺管移动位置<sup>[6]</sup>。

## 六、原因分析

1) 主控操纵员通过该故障给水泵的手动调速系统进行转速控制, 能正常升降转速, 说明转速手动控制器 S7-200 控制功能正常。

2) 按照预案进行核实, 包括主控相关报警, 就地机柜内的状态指示等判断 SLC500 控制器故障。

3) 连接专用笔记本查看 SLC500 控制器 CPU 故障信息, 无法连接成功 (面板可以与笔记本电脑正常通讯)。

4) 为尽快恢复泵可用, 对机架断电重启, SLC500 控制器自动恢复正常运行, 笔记本与 CPU 能正常通讯, 但查询无故障代码 (故障代码断电重启会被清除)。

5) 确认现场及主控状态正常后, 主控操纵员手动操作勺管 0% ~ 100%, 在就地面板确认指示动作正常, 主控操纵员将该故障恢复后的主给水泵恢复到正常热备用状态<sup>[7]</sup>。

6) 现场恢复正常约 40 分钟后异常再次复现, 与主控沟通后连接专用笔记本读取故障代码仍无法与 CPU 进行通讯。

7) 采用 CPU 新备件更换, 目视检查背板插孔均无异常, 重新下装程序, 确认现场 PLC 恢复正常运行, 确认相关 IO 板件的指示灯点亮与熄灭的状态与泵热备用时对应的 IO 板件指示灯一致。

结合上述排查过程, 进一步进行故障原因分析与定位, 具体



如下：

1) 与以往看门狗超时故障的不同点：本次异常与出现看门狗故障时现象基本一致，不同点为 CPU 模块上的 ENET 灯灭、交换机端口指示灯熄灭，而历史上出现看门狗超时故障时指示灯正常点亮。ENET 指示灯正常应为点亮状态，表示有外部连接通过以太网端口与 PLC 进行通讯（SLC500 可以通过 RS232 端口或以太网端口进行通讯，在该电厂主给水泵 SLC500 控制器完成配置后只能通过以太网端口通讯）。此以太网端口连接至交换机，交换机连接至现场面板，实现数据交互。现场用专用笔记本连接至 PLC 时，可以将笔记本与交换机的网口连接，也可以将笔记本与 PLC 网口连接。本次 PLC 故障后无论是采取哪种方法，均不能实现笔记本与 PLC 的通讯。

2) 维修手册对故障的分析：查维修手册，造成通讯异常为控制器故障或过度的噪声导致，结合现场指示灯指示，为控制器故障导致通讯异常。

3) 厂家分析：本次 CPU 故障的相关信息已整理并发泵厂家，协助分析软件设计是否存在异常，厂家核实信息后，答复不认为软件设计存在异常，引起故障的原因为硬件故障。

4) 离线平台烤机验证情况：将该故障主给水泵故障的 CPU 安装至离线平台，烤机一段时间后故障未复现。联系厂家技术人员到厂，对 CPU 软硬件进行了检查分析，未发现异常<sup>[8-9]</sup>。

## 七、故障历史及经验反馈

历史上该电厂及外部电厂也出现看门狗超时导致 CPU 故障停运事件，具体如下：

1) 2019 年 11 月，该电厂一台主给水泵自动控制 PLC（SLC500）CPU 出现看门狗超时，导致 CPU 停运（该 CPU 在该主给水泵上使用仅 8 个月）。

2) 2020 年 2 月，外电厂一台主给水泵转速控制自动切为手动控制器（S7-200）控制，现场检查，为 CPU 出现看门狗超

时，导致 CPU 停运（该 CPU 在该主给水泵上使用不到 2 个循环周期）。

3) 2022 年 6 月，该电厂自动控制器 SLC500 出现看门狗超时异常导致 CPU 停运（该 CPU 使用不到 4 年）。

4) 外部核电厂发生过由于上游供电失去，导致机柜失电，两台主给水泵（一台主给水泵运行中，另一台主给水泵热备用中）的液力耦合器全部同时失去供电。液力耦合器失电导致运行中的一台主给水泵转速缓慢下降到最低，启动备用主给水泵后发现转速也无法上调，最终因为蒸汽发生器水位低低导致反应堆停堆<sup>[10-11]</sup>。

## 八、检查项目及进展

经过该核电厂仪表组、技术组、工程改造部和厂家的讨论，针对可能的故障原因进行检查，同时针对故障带来的影响进行分析，并制定一系列的措施：

1) 已完成故障 CPU 更换，更换新备件后，跟踪运行无异常；

2) 已制定主控及仪表针对主给水泵系统自动控制器 CPU 故障的干预预案。

## 九、后续行动

- 跟踪更换完的 CPU 板件运行情况；
- 联系厂家对更换下来的 CPU 板件进行最小系统烤机运行，分析定位根本原因。

## 十、结语

综上所述，本次主给水泵转速自动控制器故障问题是由 CPU 硬件闪发故障导致 CPU 停运的可能性最高。

## 参考文献

- [1] 肖彦梅，贺治国. 核电厂主给水泵仪表可靠性提升策略 [J]. 电子技术应用, 2022, (S1): 141-145.
- [2] 田涛，徐强，江腊涛. 核电厂主给水泵机械密封失效分析及改进 [J]. 水泵技术, 2023, (01): 29-33.
- [3] 王晓辉，王芝荃. 高效液力调速产品在核电厂给水泵中的应用 [J]. GM 通用机械, 2011, (1): 37-38.
- [4] 汤吉星，严亮，黄毓鑫. 福清核电主给水泵勺管故障保位研究与工程实践 [J]. 核科学与工程, 2024 (2): 367-376.
- [5] 楼贤根，熊朋帆，钟利波. 主给水泵控制系统可靠性研究与实践 [J]. 电工技术, 2021, (17): 173-175.
- [6] 王立，马省委. 核电厂电动主给水泵液力耦合器常见故障及影响 [J]. 技术与市场, 2021, 28(05): 115-116.
- [7] 徐颖，王志先，张强，等. 基于运行事件的核电厂电动主给水泵联启方案改进 [J]. 核科学与工程, 2022, 42(04): 857-862.
- [8] 王金红，陈志，刘凡，等. 密封环支撑边界条件对机械密封端面变形的影响 [J]. 化工学报, 2020, 71(04): 1744-1753.
- [9] 郭鸿培. 田湾核电 5、6 号机组主给水泵组运行可靠性研究 [J]. 电子技术应用, 2023, (S1): 233-236.
- [10] 魏邦华. 主给水泵机械密封漏量超标分析及改进优化 [J]. 中国核电, 2023, 16(03): 427-435.
- [11] 方吉赢，赵正兴. 核电站主给水泵出力下降原因分析及处理 [J]. 设备管理与维修, 2022, (01): 42-43.

# C 核电厂放射性固体废物储存间剂量率高报警原因分析

孙涛

大亚湾核电运行管理有限责任公司, 广东 深圳 518000

**摘 要：** C 核电厂采用 DCS（集散控制系统）系统设计有数字化报警，用于操纵员对机组状态监视和事故干预处理。当机组出现故障报警时需要操纵员及时查找原因消除报警。本文阐述 C 核电厂放射性固体废物储存间放射性剂量率高报警从产生到原因的查找，报警原因分析，以及采取具体措施，最终消除报警，恢复系统正常运行。使得 C 核电厂安装时一个隐蔽性的问题得以被发现并得到纠正，确保核电站机组的安全运行。

**关 键 词：** DCS 系统；放射性；固体废物；计量率；辐射监测

## C Analysis of The Reasons for High Dose Rate of Radioactive Solid Waste in Nuclear Power Plant

Sun Tao

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** C nuclear power plant adopts DCS (distributed control system) system design with digital alarm for the operator to monitor the unit status and accident intervention. When the unit has a fault alarm, the operator needs to find the cause and eliminate the alarm in time. This paper describes the search from the occurrence to the cause of the high radioactive dose rate alarm in the radioactive solid waste storage room of C nuclear power plant, the analysis of the alarm cause, and the concrete measures to eliminate the alarm and restore the normal operation of the system. A hidden problem in the installation of the C nuclear power plant can be discovered and corrected, ensuring the safe operation of the nuclear power plant units.

**Keywords：** DCS system; radioactivity; solid waste; measurement rate; radiation monitoring

### 引言

自从 C 核电厂商运以来，主控室一直存在 8KRT508KA（固体废物处理系统 3 号树脂槽  $\gamma$  剂量率 2 级报警）和 8KRT509KA（固体废物处理系统 2 号树脂槽  $\gamma$  剂量率 2 级报警）。根据现场反馈，报警原因为固体废物处理系统 2、3 号树脂槽所在房间真实剂量率高，报警卡要求，需在 L8TES003BA（固体废物处理系统 3 号罐）固化完毕后报警消除。该报警是 C 核电厂的顽疾，报警长期存在影响主控对报警的监视，当房间的剂量率变化时无法再次确认。由于 C 核电厂是新电厂固体废物储存量不高，真实剂量率不高，不应该出现该报警，所以需要查清楚报警产生的根本原因<sup>[1]</sup>。

### 一、风险描述

（一）主控电站计算机信息和控制系统（KIC）出现的报警，根据报警类型操纵员要及时响应，如果是状态报警长期存在影响主控操纵员的监盘，如果状态报警过多易漏看一些重要的异常报警。

（二）如果辐射监测系统 8KRT508/509KA 报警属于异常报警，需要及时响应查找报警原因，定位故障点，及时消除故障。

（三）如果是现场放射性真实高，超出规定范围需要及时处理，导致人员装桶时受到过量剂量照射<sup>[2]</sup>。

作者简介：孙涛（1983.6-），男，汉，宁夏银川市，大亚湾核电运营管理有限公司，工程师，研究生，研究方向：工商管理（MBA）。

### 二、原理及分析

#### （一）原理

##### 1. 放射性废物的收集

在各种放射性废物的产生场所就地分类收集，以不同的接收方式和输送设备将各种废物分门别类集中到暂时贮存设施中。通常首先将废物按其物理状态分成液体、固体和气体废物，还可进一步按废物比活度或放射性浓度、分成高、中、低放射性水平的废物，简称高、中、低放废物。对某些特殊放射性核素也应单独分类收集，如含氚废物、超铀废物见超铀元素等<sup>[3]</sup>。

2.放射性废物的固化

为了安全贮存，减少对环境的污染，须将放射性废液或其浓缩物转化为固体。放射性废物固化的基本要求是：固化体的物理化学性能稳定，有足够的机械强度，减容比大，在水中的浸出率低；操作过程简单易行，处理费用低等。针对不同类型的废物可采用不同的固化方法。

3.放射性废物的贮存

未经固化处理的放射性废液和浓缩物以及尚未选定最终处置方案的固化体等放射性废物，都应在固定地点贮存在专用的容器中，贮存过程中要注意安全，不能使放射性废物泄漏。对贮存比活度高、释热量大的高放废液的贮罐有特别严格的要求：材料要耐腐蚀，结构要牢固可靠，设有通风散热装置、检漏系统和料液转运装置等，并须进行监测。

(二) 具体分析

1.辐射监测系统报警8KRT508/509KA简述

辐射监测系统报警8KRT508/509KA分别属于辐射监测仪表（8KRT511MA）测量固体废物处理系统（8TES）3号树脂槽  $\gamma$  剂量率2级报警和辐射监测仪表（8KRT508MA）测量固体废物处理系统8TES 2号树脂槽  $\gamma$  剂量率2级报警，报警定值均为  $2.5 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ ，报警出现的后果均为：剂量率增加导致固体废物装桶时产生可以预见的困难<sup>[4]</sup>。

2.分析过程

（1）报警出现原因可能有以下原因

- 1）固体废物放射性剂量率真高，导致报警出现；
- 2）相关的辐射监测探头或探测回路故障导致报警出现；
- 3）报警设计定值与现场真实放射性差异过大，导致报警出现；
- 4）其他异常原因导致。

（2）固体废物放射性真高原因查找

某核电基地 A、B、C 三个核电厂中，C 核电厂固体废物储存 8TES 2/3号树脂槽对比 A 核电厂和 B 核电厂固体废物量不多，但是每次出现报警后就需要移除固体废物，由于公司对固体废物的处理有要求：需要存储在规定时间和积累到规定的产量，而且有考核指标，如果固体废物产量不高，尽量不提申请将其移除他处。

实际剂量偏高的原因首先是2012年之前 C 核电厂固体废物处理系统（TES）不可用，导致积压了部分废物，另外，由于受废液处理系统储存罐（8TEU001/002BA）混流器和低性能树脂的影响，废液处理系统除盐床（8TEU001/002DE）处理效率不佳，导致2012年、2013年 C 核电厂放射性浓缩液产量较正常运行状态超出很多，所以2013年产生的部分废树脂只能在2014年、2015年逐步处理。但是固体废物的总量在可接受范围<sup>[5]</sup>。

其次，某核电基地 A、B、C 三个核电厂的固体废物处理系统储存罐（TES002/003BA）的运行上有区别，A 核电厂和 B 核电厂核固体废物处理系统储存罐（TES002BA）接低放射性树脂，固体废物处理系统储存罐（TES003BA）接高放射性树脂；C 核电厂是混合接收，所以两个罐子都是高放射性储存罐。原因为 C 核电厂固化的配方不一样，咨询服务部门相关人员得知，C 核电厂运行模式不可能恢复到另外两个核电站的运行模式。查询 A 核电

厂和 B 核电厂过去的辐射监测报警记录，A 核电厂最近几年没出现过辐射监测仪表 KRT508/511MA 报警，B 核电厂的辐射监测仪表 KRT511MA 在接收高放树脂后会出，最近一次是2013年12月接受化学和容积控制系统除盐床（RCV002DE）树脂时，后来由于衰变实测值低于一级报警，经手动复位报警消失；辐射监测仪表 KRT508MA 很少出报警<sup>[6][7]</sup>。

（3）仪表部门检查电厂辐射监测仪表 KRT 探测回路及探头可能异常分析：

经过出票校验辐射监测仪表8KRT508/511MA 探测回路及探头本身，结果合格。根据仪表人员反馈，A 核电厂和 B 核电厂辐射监测仪表 KRT508/511MA 探头在固体废物处理系统储存罐（TES002/003BA）房间位置与 C 核电厂基本一致。

辐射监测仪表8KRT508/511MA 从2012年运行至今，其中 8KRT508MA 平均值为  $1.67 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，8KRT511MA 平均值为  $3.77 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，两块仪表的实际测量值均高于二级报警值  $2.5 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 。

（4）报警设计定值与现场真实放射性差异过大，分析讨论修改定值：

三个核电厂报警设计定值对比分析：C 核电厂辐射监测报警8KRT508KA 对应辐射监测仪表8KRT 511MA 探头，测量固体废物处理系统3号树脂  $\gamma$  剂量率2级报警辐射监测报警 8KRT509KA 对应辐射监测仪表8KRT 508MA 探头，测量固体废物处理系统2号树脂  $\gamma$  剂量率2级报警，三电站报警定值相同。如表1所示：

表1 KRT508/511MA 三个核电厂对比表

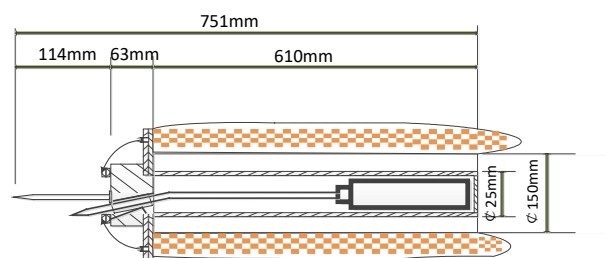
报警	探头	A 核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$	B 核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$	C 核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$
固体废物处理系统3号树脂槽 $\gamma$ 剂量率2级报警 KRT508KA	辐射监测仪表 KRT511MA	$2.5 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$
固体废物处理系统2号树脂槽 $\gamma$ 剂量率2级报警 KRT509KA	辐射监测仪表 KRT509MA	$2.5 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$

现场测量固体废物处理罐8TES002/003BA 房间固体废物的放射性真实高，与辐射监测仪表8KRT509/511MA 的显示一致。

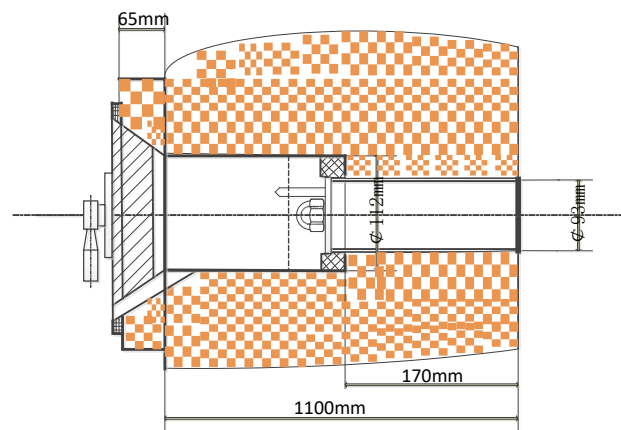
经过与核电厂多个专业部门讨论，解决方案有2个：方案一、将固体废物清理，受到固化指标的限值无法清除；方案二、通过修改报警定值消除报警（房间放射性真实高，报警长期存在失去监视意义）。后来决定采用方案二，通过提工程服务申请（ESR）执行修改报警定值的方式消除报警。但由于三个核电站的定值均一致，申请理由不符合核电厂要求，此方案行不通。此时陷入僵局，又回到了起始点。显然，这两个报警的出现是有问题的，但是根本原因仍未找到。从运行情况来看无法找到原因，于是决定从设计、安装方面开始查找原因<sup>[8][9]</sup>。

首先，检查固体废物处理罐8TES002/003BA 的材质及放射

性的屏蔽性能,查阅设计安装手册,B核电厂与C核电厂都是相当于304L的材质,A核电厂的材质未能找到,但通过对比其罐子的厂家以及结构图信息,判断是和B核电厂材质都采用的304不锈钢,且三个核电站罐子的厚度都是5mm,对放射性的屏蔽效果应该不会有太大的区别,排除了固体废物处理罐材质及放射性的屏蔽性能;接着检查三个核电站固体废物处理罐房间墙壁的壁厚是一致的;然后再检查辐射监测的测量探头的设计、现场安装情况,测量探头安装在一个金属套管内(某核电基地A、B、C三个核电厂也是一样的),金属套管内壁的材质和套管底部的材质、厚度均一致;最后写通知单核对现场实际探头与孔洞的安装距离,发现与A核电厂和B核电厂安装一致;测量探头在孔洞内的位置至固体废物处理罐的距离,C核电厂比A核电厂和B核电厂多深入了500mm以上。具体对比如图一、图二所示:



> 图一: A核电厂和B核电厂辐射监测仪表KRT508/511MA安装简图



> 图二: C核电厂辐射监测仪表8KRT508/511MA安装简图

### 三、结语

通过历时近一年的查找和分析,排除了C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA的对应的测量仪表无异常和故障;确认了固体废物处理罐8TES002/003BA所在房间的放射性剂量是真实存在,且与A核电厂和B核电厂相比实际固体废物量略多一些,但在合理可以接受的水平,但放射性固体废物的剂量率并没有超标<sup>[10]</sup>。

C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA产生的根本原因是辐射监测探头的安装距离过于接近所要测量的固体废物处理罐,导致辐射监测仪表直接测量固体废物处理罐,与实际的设计原理不符。后续经厂家核实、确认后,调整设计、安装,与A核电厂和B核电厂保持一致,实施改造后,辐射监测仪表定期检验合格,C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA报警未在出现。至此,C核电厂这一顽疾最终得到了纠正。

### 参考文献

- [1] 谢荣荣,李峰,朱杰,等.我国核电运行与退役产生放射性废物回顾与发展[J].核安全,2024,23(03):45-50.DOI:10.16432/j.cnki.1672-5360.2024.03.013.
- [2] 唐辉,谷洪,刘佩,等.城市放射性废物库区域 $\gamma$ 剂量监测系统的设计[J].核电子学与探测技术,2023,43(05):1014-1020.
- [3] 王兴华,侯铁钢,王学思,等.放射性废物暂存库安防及废物桶自动运输系统的设计探讨[J].产业与科技论坛,2022,21(22):38-40.
- [4] 陈超,邵明刚,陈春燕,等.某城市放射性废物库退役的辐射影响评价[J].同位素,2023,36(01):35-42.
- [5] 李元岗,刘颖,苏晓书,等.城市放射性废物库辐射环境影响研究[J].环境科学与管理,2023,48(02):173-178.
- [6] 罗晶,喻亦林.云南城市放射性废物库建设、运维与辐射环境监测分析[J].辐射防护,2023,43(S1):111-122.
- [7] 姚建新,王侃,王娟,等.我国城市放射性废物库运行实践探讨与展望[J].中国环保产业,2022,(10):64-67.
- [8] 刘首正,张子伯,宋金田,等.浅谈放射性废物治理的方法与思路——以辽宁省旧城市放射性废物贮存库为例[J].新农业,2021,(08):92-93.
- [9] 日本拟修改法律允许放射性废物出口[J].国外核新闻,2021,(09):18.
- [10] 王兴春,张焰.法德企业签订放射性废物返还合同[J].国外核新闻,2021,(09):19.



# 特高压输电线路在线监测技术应用分析

何寿根

常州爱特科技股份有限公司, 江苏 常州 213022

**摘 要：** 特高压输电线路是电力传输的骨干网络，承担着大容量、远距离的电能输送任务，对于保障国家能源安全 and 经济发展具有举足轻重的地位。然而，特高压输电线路往往跨越广袤的地域，穿越复杂多变的环境，面临着众多潜在的威胁和挑战。因此，对特高压输电线路进行实时、有效的在线监测，对于预防故障、提高运行可靠性具有重要意义。

**关 键 词：** 特高压输电线路；线路检测；技术应用

## Analysis on the Application of Online Monitoring Technology for Extra-high Voltage Transmission Lines

He Shougen

Changzhou AITE Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213022

**Abstract：** Extra-high voltage (UHV) transmission lines are the backbone network of power transmission, undertaking the task of large-capacity, long-distance power transmission, and are pivotal to guaranteeing national energy security and economic development. However, UHV transmission lines often span vast areas and traverse complex and changing environments, facing many potential threats and challenges. Therefore, real-time and effective online monitoring of UHV transmission lines is of great significance for preventing failures and improving operational reliability.

**Keywords：** extra-high voltage transmission line; line inspection; technical application

### 引言

近年来，随着科技的飞速发展，特高压输电线路在线监测技术也取得了长足的进步。这些技术利用先进的传感器、通信和数据处理手段，对线路的状态进行实时监测和分析，为运维人员提供及时、准确的信息，帮助他们快速发现并解决问题。在特高压输电线路在线监测技术的应用中，传感器技术扮演着至关重要的角色。这些传感器能够实时监测线路的电压、电流、温度、湿度等关键参数，并将数据实时传输到监控中心。通过分析这些数据，运维人员可以了解线路的运行状态，预测可能发生的故障，并制定相应的应对措施。

### 一、特高压输电线路在线监测技术概述

特高压输电线路作为现代电力系统的重要组成部分，其稳定运行对于保障国家能源安全 and 经济发展至关重要。在线监测技术作为确保特高压输电线路安全、可靠运行的关键手段，近年来得到了广泛的关注和应用。在线监测技术通过实时采集、传输和分析特高压输电线路的运行数据，能够及时发现潜在的安全隐患和故障，为运维人员提供有力的决策支持。该技术涵盖了多种监测手段，如温度监测、振动监测、图像识别等，能够全面反映线路的运行状态。在实际应用中，特高压输电线路在线监测技术通过安装在线路上的传感器和监测设备，实现对线路运行状态的实时监控。这些设备能够实时采集线路的温度、张力、振动等关键参数，并通过无线通信技术将数据传输至监控中心。监控中心通过

对这些数据的分析处理，可以及时发现线路的异常情况，并采取相应的措施进行干预，从而避免事故的发生。此外，特高压输电线路在线监测技术还具有智能化、自动化的特点。通过引入人工智能、大数据等先进技术，该技术能够实现对线路运行状态的智能分析和预测，为运维人员提供更加精准、高效的决策支持<sup>[1]</sup>。

### 二、特高压输电线路在线监测技术应用范围

特高压线路要想实现稳定运行，需要借助在线监测技术进行实时监测，及时准确查找隐患，解决问题，但在实际使用时需要注意在线监测技术的应用范围。

1. 导线覆冰监测：在线监测技术的应用则是确保其稳定运行的关键手段之一。其中，导线覆冰监测更是关键环节。在极端

气候条件下，导线上的覆冰会导致重量增加，影响线路张力，严重时甚至可能导致线路断裂，对电力供应造成巨大影响。因此，导线覆冰监测技术的应用显得尤为重要。该技术通过安装在输电线路上的传感器，实时采集导线覆冰情况的数据，并传输至监控中心。监控中心对这些数据进行分析处理，可以准确判断导线覆冰的程度和发展趋势，及时预警并采取相应措施，防止因覆冰导致的线路故障。此外，导线覆冰监测技术还能帮助电力企业更科学地制定应急预案和运维策略，提高电网的抗灾能力和运行可靠性。可以说，这一技术的应用，为特高压输电线路的安全稳定运行提供了有力保障<sup>[2]</sup>。

2. 导线风偏监测：特高压输电线路在线监测技术中的导线风偏监测，是一项具有广泛应用前景的先进技术。在电力系统中，导线风偏是影响线路安全稳定运行的重要因素之一。通过导线风偏监测，可以实时获取导线在风力作用下的偏移情况，从而有效预防线路因风偏引发的故障。导线风偏监测技术的应用范围广泛，不仅适用于平原地区的输电线路，还能适应山地、高原等复杂地形的线路监测。同时，在台风、冰雹等极端天气条件下，该技术更能发挥其优势，实时监测导线的偏移情况，为线路的安全运行提供有力保障。此外，导线风偏监测技术还可以与其他在线监测技术相结合，形成一套完整的输电线路监测系统。通过综合分析各种监测数据，可以更加准确地判断线路的运行状态，及时发现潜在的安全隐患，并采取有效的措施进行处理，从而确保电力系统的稳定运行和可靠供电<sup>[3]</sup>。

3. 杆塔倾斜监测：特高压输电线路作为电力传输的重要通道，其安全稳定运行至关重要。在线监测技术的应用，特别是杆塔倾斜监测，为线路的实时状态监测提供了强有力的支持。杆塔倾斜监测是特高压输电线路在线监测技术的重要应用之一。该技术通过安装高精度传感器，实时监测杆塔的倾斜角度和位移变化，从而准确判断杆塔的稳定性和在风力、地震等自然因素影响下，杆塔可能出现倾斜或位移，通过倾斜监测，可以及时发现这些问题，并采取相应措施进行处理，避免事故的发生。此外，杆塔倾斜监测还能对线路的维护和管理提供重要数据支持。通过对监测数据的分析，可以了解杆塔的变化趋势，预测可能存在的问题，为线路的预防性维护提供依据。同时，这些数据还能对线路的优化设计提供参考，提高线路的可靠性和经济性。

4. 绝缘子污秽监测：绝缘子污秽监测是特高压输电线路在线监测技术应用的重要领域之一。绝缘子污秽监测主要通过通过对绝缘子表面的污秽程度进行实时监测，及时发现并处理潜在的绝缘隐患。通过采用先进的传感器技术和数据处理算法，能够准确测量绝缘子表面的污秽程度，并根据监测数据制定相应的清洁和维护计划。这不仅提高了绝缘子的运行可靠性，也降低了因污秽导致的线路故障风险。此外，绝缘子污秽监测还有助于实现特高压输电线路的智能化管理。通过实时监测和数据分析，能够预测绝缘子污秽的发展趋势，为线路的预防性维护提供有力支持。同时，在线监测技术还可以与其他智能系统相结合，实现线路的自动化巡检和故障预警，进一步提高特高压输电线路的运行效率和安全性。

5. 线路舞动监测：输电线路受到自然现象影响会出现晃动，会对线路杆塔稳定性造成影响，严重情况下会出现线缆之间的连接部件损坏、脱落等情况，导致不良后果。通过特高压输电线路在线监测技术对线路的舞动现象进行远程在线监测，通过对输电线路的绝缘子、应力及周围自然环境的各种参数进行分析，准确核算线路的舞动对输电线路造成的影响大小，发现问题及时处理，保证线路的稳定可靠运行<sup>[4]</sup>。

### 三、特高压输电线路在线监测技术实现方式

随着特高压在线监测技术的不断发展，未来在输电线路中使用的监测技术必然越来越多，也会更加成熟，下文对常见的在线监测技术实现方式进行一一分析。

1. 光纤传感技术：特高压输电线路在线监测技术是确保电网安全稳定运行的关键手段，其中光纤传感技术以其独特的优势成为了重要的实现方式。光纤传感技术基于光的传输特性，通过布置在特高压输电线路上的光纤传感器，实现对线路状态、环境参数等的实时监测。具体而言，光纤传感技术利用光纤作为传感元件，通过光的干涉、散射等效应来感知线路上的物理量变化。当线路受到外力作用或环境因素的影响时，光纤传感器的光信号会发生变化，这些变化经过光电转换和信号处理，即可得到反映线路状态的实时数据。光纤传感技术具有灵敏度高、抗电磁干扰能力强、传输距离远等优点，特别适用于特高压输电线路这种复杂多变的监测环境。通过光纤传感技术，可以实现对线路温度、应力、振动等关键参数的实时监测，为电网的安全运行提供有力保障。

2. 电磁传感器：特高压输电线路是电力传输的重要组成部分，其运行状态的实时监测对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。电磁传感器作为一种先进的在线监测技术，为特高压输电线路的安全监测提供了有力支持。电磁传感器通过感应特高压输电线路周围的电磁场变化，实现对线路状态的实时监测。这种传感器具有灵敏度高、响应速度快的特点，能够准确捕捉线路运行过程中的微小变化。通过实时监测数据，可以及时发现线路可能存在的故障隐患，如导线断裂、绝缘破损等，从而采取有效措施进行修复，避免事故的发生。同时，电磁传感器还具有安装方便、维护简单的优点。它可以直接安装在输电线路的塔架上，无需对线路进行改动，不会对线路的正常运行造成影响。此外，传感器的维护也非常简单，只需定期检查其工作状态，确保数据传输的准确性和稳定性即可<sup>[5]</sup>。

3. 图像处理技术：特高压输电线路是电力传输的重要通道，其运行状态的实时监测对于保障电力供应的稳定性和安全性至关重要。在众多的在线监测技术中，图像处理技术以其独特的优势，成为了实现特高压输电线路在线监测的重要手段。图像处理技术主要依赖于先进的图像采集设备和算法。首先，通过在特高压输电线路路上安装高清摄像头，能够实时捕捉线路的运行画面。这些摄像头具备高灵敏度、高分辨率的特性，即使在恶劣的天气条件下，也能捕捉到清晰的图像。随后，利用图像处理算法对采集到的图像进行处理和分析。这些算法能够识别出图像中的关键

信息，如线路的形态、绝缘子的状态、导线的摆动幅度等。通过对比正常状态下的图像和实时监测到的图像，可以及时发现线路的异常情况，如绝缘子破损、导线舞动等。<sup>[6]</sup>此外，图像处理技术还可以结合其他传感器数据，如温度、湿度等，对特高压输电线路的运行状态进行更全面的评估。这种多源信息的融合处理方式，能够提高监测的准确性和可靠性。

## 四、特高压输电线路在线监测技术的应用

### 1. 输电线路周围气象监测

特高压线路通常是穿过户外复杂的地域环境，并且长时间野外运行，因此有必要对输电线路附近的气候条件指标进行实时采集。在气象检测中，主要是实现雷电的技术检测，定位是重点，是基于雷电出现时候所产生的电磁辐射信号以及雷电波来定位的。通过分析雷电出现的电磁信号强弱来确定雷电出现时间及位置，最终呈现出来雷电路动态图，以便更好的预防雷电等自然现象对大自然及人类生活环境的破坏<sup>[7]</sup>。当前国际主要运用时差雷电的定位和定向雷电的测量技术对雷电进行位置监测。两种监测方式主要是探测雷电电流的大小及波形参数进行数据分析。

同时还可以对线路周边的环境指标进行监控，包括温度、湿度、风速、风向、雨量、日照等。每一个环境监测站都需要做好输电线路的探测，保证线路周边环境的完全掌握，预测长时间内环境的变化对线路正常运行的影响，及时把影响降低到最小范围内。并且区域内的监测点要及时分析周边线路环境气象要素的变化情况，实时和总站对接，为总站评估整体气象灾害提供足够的信息资料<sup>[8]</sup>。

### 2. 输电线路导线振动监测

特高压输电线路在长期微风振动过程中，容易发生疲劳断股现象，从而影响线路的正常运行。这种断股现象不容易被发现，但是长期的作用下会对线路造成严重损坏，产生不可估量的后果。因此在线路监测过程中需要实时监测微风振动现象，监测线路的弯曲振幅值或振动频率，对振动数据进行详细的记录分析，同时对线路的寿命及运行情况做详细的分析，为线路正常运行保

驾护航<sup>[9]</sup>。

### 3. 输电线路的状态监测

特高压输电线路分布面积广，为了保证线路的安全运行，需要对每一段线路进行全方位的监控。比如在市人流密度大的环境下，可以采用视频监控来监测线路周围环境，在视频监控的帮助下对线路及区域进行实时监测；在野外环境中可以运用传感器实施监控线路的运行状态，配合气象监测数据对输电线路进行实时监控，发现问题及时处理。

## 五、特高压输电线路在线监测技术应用优势

1. 提高监测精度：在线监测技术可以实时采集和处理线路状态信息，避免了传统巡检方式中人为因素导致的误差，提高了监测精度。

2. 提高监测效率：在线监测技术可以实现对多条输电线路的同时监测，减少了人力投入和巡检周期，提高了监测效率。

3. 提前预警和预防故障：在线监测技术能够实时监测线路状态，一旦发现异常情况即可及时发出预警，提醒运维人员进行处理，从而避免了故障的发生和扩大<sup>[10]</sup>。

4. 数据化管理和决策支持：在线监测技术可以将监测数据转化为图像或报表形式，方便运维人员进行分析和决策。同时，通过对大量数据的积累和分析，可以为线路的运维管理提供数据支持和决策依据。

## 六、结束语

综上所述，特高压输电线路在线监测技术的应用对于保障线路的安全稳定运行具有重要意义。通过实时监测和分析线路的运行状态和周围环境信息，可以及时发现并处理潜在的安全隐患，提高线路的可靠性和稳定性。未来随着技术的不断发展和进步，相信在线监测技术在特高压输电线路的运行管理中将发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1] 黄小浪. 1000kV 特高压输电线路在线监测管理平台的应用解析 [J]. 农村电气化, 2022(12):81-82.
- [2] 吴俊, 肖海涛, 侯新文, 等. 特高压输电线路在线监测技术的应用 [J]. 中国科技投资, 2019(22):102.
- [3] 郑文鹏. 试论特高压输电线路状态监测技术的应用 [J]. 低碳世界, 2019,9(11):95-96.
- [4] 汪世平, 丁志刚, 李吉, 等. 特高压输电线路监测终端取能技术的研究与应用 [J]. 浙江电力, 2021,40(11):46-53.
- [5] 周梦麟. 特高压输电线路在线监测技术的应用 [J]. 大众用电, 2021,36(02):67-68.
- [6] 刘成立. 特高压输电线路 V 型串设计关键问题研究 [J]. 低碳世界, 2023,13(11):82-84.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2023.11.035.
- [7] 魏寅孔, 李振华, 李振兴, 徐艳春, 邱立, 许修齐. 特高压直流输电线路合成电场的天气影响因素及预测模型 [J]. 科学技术与工程, 2023(09): 3769-3778.
- [8] 程杰, 李吉鹏. 特高压输电线路状态监测分析 [J]. 光源与照明, 2023(01): 210-212.
- [9] 朱世忠. 浅谈交流特高压输电线路技术 [J]. 中国高科技, 2023(21): 105-107.
- [10] 张媛媛. 超特高压输电线路运维管理中的问题及解决方法 [J]. 自动化应用, 2023(S2): 128-129+132.

# 电力企业川井现场歌美飒 G52-850 风机 210 高速 刹车未释放故障分析

荣宇龙, 张博

内蒙古龙源新能源发展有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010

**摘 要 :** 某电力企业所属川井现场的歌美飒 G52-850 风机, 近期频繁出现 210 高速刹车未释放故障, 经统计 6 月 1 日至 14 日期间, 有 40 台机组报过此故障。在 6 月 16 日 B1、B2 线路停电检修恢复送电后, 又有 30 台机组报此故障。此故障现象包括机组长时间停机、远程复位时报故障等。故障触发条件包括急停状态下未监测到 S208 传感器压力, 以及正常状态时 S208 传感器给 PLC 一个刹车状态的信号。故障触发后, 需要就地复位才能消除此故障, 无法进行远程复位, 大大增加了工作量<sup>[1]</sup>。本文通过实地调查和对故障原理的细致分析, 确定了故障的主要原因, 并列出了了对应的解决措施。

**关 键 词 :** 风电企业; 歌美飒 850 风机; 高速刹车未释放故障; 分析

## Fault Analysis of High Speed Brake Failure of Gemeisa G52-850 Wind Turbine 210 at Chuanjing Power Company Site

Rong Yulong, Zhang Bo

Inner Mongolia Longyuan New Energy Development Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010010

**Abstract :** The gomesa G52-850 fan on the Chuanjing site of an electric power enterprise has frequently released the fault of 210 high-speed brake recently. According to the statistics, from June 1 to 14, 40 units reported this fault. On June 16, after the B1 and B2 lines were repaired and resumed power transmission, another 30 units reported this fault. This fault phenomenon includes long time unit shutdown, remote reset time failure, etc. The fault trigger conditions include the S208 sensor pressure in the emergency stop state and the signal from the S208 sensor to give PLC a brake in the normal condition. After the fault is triggered, a local reset is required to eliminate the fault, and the remote reset cannot be performed, which greatly increases the workload. Through the field investigation and the detailed analysis of the fault principle, the main cause of the fault is determined, and then the corresponding solutions are listed.

**Keywords :** wind power enterprise; gomesa 850 wind turbine; high-speed brake did not release fault; analysis

### 前言

某电力企业川井风电场安装了 174 台歌美飒 G52-850 风机, 近期, 该机型的机组频繁报 210 高速刹车未释放故障, 经统计 6 月 1 日至 14 日期间, 有 40 台机组报过此故障。在 6 月 16 日 B1、B2 线路停电检修恢复送电后, 又有 30 台机组报此故障。通过实地调查和对故障原理的细致分析, 基本确定故障主要由蓄能器损坏导致<sup>[2]</sup>。

表 1: 故障统计表

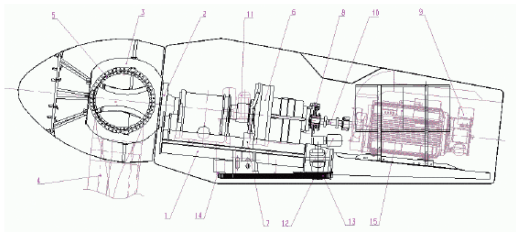
6 月 1-14 日高速刹车未释放故障统计							
风机号	发生次数	风机号	发生次数	风机号	发生次数	风机号	发生次数
A1-013	26	B3-208	3	A4-054	5	A3-042	1
A2-022	23	A2-026	2	B1-141	5	A3-043	1
B1-125	17	B1-127	2	A2-017	4	A4-058	1
B4-238	15	B1-153	2	A4-045	4	B1-149	1
B2-156	14	B2-166	2	B1-137	4	B2-165	1
B2-174	9	B3-196	2	B2-164	4	B2-170	1
B4-225	9	B4-231	2	A1-009	3	B2-176	1
A1-004	7	B4-235	2	A2-021	3	B2-178	1
A2-023	6	B4-240	2	A4-049	3	B4-220	1
B2-154	6	A3-041	1	B2-161	3	B4-222	1

作者简介: 荣宇龙 (1985.01-), 蒙, 男, 籍贯内蒙古呼和浩特市, 工程硕士学位, 学历本科, 中级工程师, 研究方向: 新能源现场运维方向。



一、机型简介

G52-850 风力发电机组是西班牙 Gamesa 公司生产的水平轴、三叶片，变速恒频发电机组，叶轮直径52米，额定功率850kW。



> 图 1：机舱侧视图

1 基本框架 2 主轴 3 轮毂 4 叶片 5 叶片支承 6 齿轮箱 7 齿轮连接棒 8 盘式制动器 9 发电机 10 万向联轴器 11 液压单元 12 偏转马达 13 偏转齿轮 14 扭矩传感器 15 顶部控制器

控制系统采用 DAC-PHC 控制系统；变桨系统采用液压变桨，角度从 -5° 到 +89°。采用双馈发电机，带有绕组转子和滑差线圈。风机的基本制动方法是全顺桨（full feathering）制动。其他的制动是紧急状态下的紧急制动，通过液压系统启动安装在齿轮箱高速主轴上的紧急盘式制动器<sup>[3]</sup>。

表 2：歌美飒 G52-850 风机主要参数

项目	名称	技术参数	
1. 主要参数	额定功率	850	kW
	叶轮直径	58	m
	扫风面积	2642	m <sup>2</sup>
	轮毂中心高度	55	m
	叶轮转速大约	14. 5-30. 8	rpm
	允许运行的环境温度	-20 < T < +40	℃
	总重量	27(机舱)+16（叶轮）=43	T
2. 机械刹车	制造厂家	Gamesa	
	类型	加压制动	
	刹车盘直径	600	mm
	刹车盘材质	SJV 300	
	刹车蹄数量	3	个
3. 液压系统	制造厂家	HINE	
	工作压力范围	180-200	bar
	溢流阀压力	220	bar
	油仓容积	60	L
	油型号	CALTEX rando HDZ32	
	电动机额定功率	4	kW
	电压	690	V
	泵容量	0.567 - 9.45	l/min
4. 运行参数	启动风速	3	m/s
	最大运行风速（10 分钟平均）	21	m/s
	齿轮箱高速轴承温度高	90	℃
	齿轮箱油温高	80	℃
	齿轮箱油温低	-5	℃
	齿轮箱加热启动温度	10	℃
	齿轮箱加热停止温度	15	℃

项目	名称	技术参数	
4. 运行参数	齿轮箱冷却低速风扇启动温度	55	℃
	齿轮箱冷却高速风扇启动温度	61	℃
	发电机最大转速	2007	rpm
	发电机定子线圈温度高	165	℃
	发电机前轴承温度高	100	℃
	发电机后轴承温度高	100	℃
	环境温度底	-20	℃
	环境温度高	40	℃
	Y形发电最大功率	500	kW
	△形发电最小功率	150	kW
	液压油温度高	65	℃
	液压系统启泵压力	180	bar
	液压系统停泵压力	200	bar

二、故障分析

（一）故障触发条件

1. 在急停状态下，没有监测到 S208 传感器的压力，（传感器检测到刹车回路压力 > 10bar 输出高电平）<sup>[4]</sup>。

2. 在正常状态下，S208 传感器给 PLC 一个刹车状态的信号（正常状态下 PLC 收到了高电平）。

故障触发后，需要就地复位才能消除此故障，无法进行远程复位，大大增加了工作量。

（二）故障现象

1. 当多台机组报 VOG 故障，interbus 故障等故障时，引发紧急停机后，会报出 210 高速刹车未释放故障，同时会伴随烟雾传感器故障报警<sup>[5]</sup>。

2. 从故障时间与故障现象看是紧急停机类故障引发高速刹车未释放故障。

3. 机组长时间故障停机，远程复位时，会报出 210 高速刹车未释放故障，此时系统压力过低，系统需重新打压。

4. 系统泄压后重新打压时会报 210 高速刹车未释放故障。

5. 故障后，使用就地复位方式，此故障可以消除，高速刹车可以正常释放。

通过故障现象与故障时序判断，由紧急停机类故障导致机组紧急停机后，从而引发“210 高速刹车未释放故障”的可能性最大。

（三）故障原理

触发条件 1：从图纸中可以看出高速刹车回路蓄能器 27 正常状态下有 11bar 气体压力，正常运行时系统压力通过减压阀 24 减压到 35.5bar 给蓄能器 27 建压，同时系统蓄能器 16（80bar）也可以给高速刹车回路补压。当系统紧急停机时变桨系统紧急收桨，系统会快速推动变桨液压缸，油液快速进入液压缸内导致系统压力迅速降低，高速刹车也要同时动作，此时蓄能器 27 损坏，导致高速刹车回路不能立即建立起 10bar 的刹车压力，造成 S208 传感器没有输出高电平，最终报出 210 高速刹车未释放故障。系统压力通过一个减压

阀24将压力降低到35.5bar给高速刹车系统补压,如果高速刹车系统压力比较低的情况下补压就会有一个时间过程<sup>[6]</sup>。

如果单向阀11.4卡涩无法正常关闭,会造成高速刹车系统泄压,可能会导致液压站频繁打压。限压阀29损坏与电磁阀22.1损坏也会造成高速刹车系统泄压,可能会导致液压站频繁打压。使高速刹车系统保压能力下降,造成刹车启动时压力不足,导致刹车时间长。手阀18.2如果没有关闭或者损坏也会造成上述情况<sup>[7]</sup>。

触发条件2:造成触发条件2情况的原因是22.1电磁阀损坏,导致正常运行时油液进入刹车回路,或者系统要求释放时22.1电磁阀没有及时打开。还有可能是传感器S208与线路模块故障等原因造成。

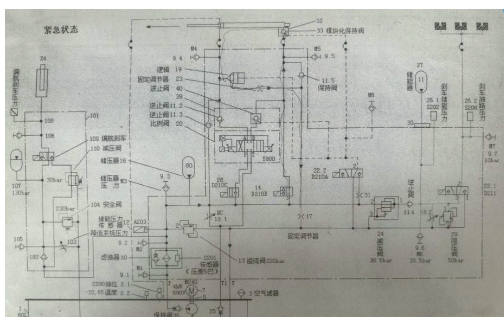


图2：液压系统图

#### （四）现场检查

登机使用压力表测量B4-231、B2-154风机的高速刹车蓄能器27没有压力,测量偏航系统蓄能器107也没有压力。拆下蓄能器检查发现蓄能器已经损坏冒油。经了解,近10年没有对以上系统的蓄能器107和27进行更换。

停机检查B4-231风机液压站没有频繁打压情况,基本排除回路泄压情况。机组在停机状态、叶片在90°时,进行了多次测试,启动高速刹车,高速刹车可以正常刹车,没有报210高速刹车未释放故障。将机组开桨后,拍下紧急停机按钮,叶片紧急回桨,机组报出210高速刹车未释放故障。基本排除22.1电磁阀、压力传感器S208与电气回路问题<sup>[9]</sup>。

停机检查B2-154风机液压站有频发打压情况,将液压站开盖检查,发现偏航回路有泄压情况与高速刹车回路没有关系,高速刹车回路回油管没有泄漏。判断单向阀11.4、限压阀29与电磁阀22.1没有泄压情况。机组在停机状态、叶片在90°时,进行了多次测试,启动高速刹车,高速刹车可以正常刹车,没有报210高速刹车未释放故障。将机组开桨后,拍下紧急停机按钮,叶片紧急回桨,机组报出210高速刹车未释放故障。基本排除22.1电磁阀、压力传感器S208与电气回路问题。

### 三、小结及下一步措施

结合实地调查和对故障原理的细致分析,判断造成210高速刹车未释放故障,主要原因是蓄能器27损坏,动作时高速刹车回路压力不足,且系统压力不能及时补充导致,需要测试更换氮气罐<sup>[10]</sup>。

措施:安排在全年检过程中对液压系统蓄能器107和27进行检测,更换压力不足的蓄能器。

同时,导致高速刹车动作的主要故障有interbus、vog、模块

出错、烟雾传感器(较少)、液压站油温高、底部急停回路断开(3415)等故障。针对这6个导致高速刹车动作的故障,主要做如下措施:

#### 1. Interbus

故障触发条件:INTERBUS总线出错时间超过了2秒。

防范措施:检查光电耦合模块电源,检查光线的连接,检查GatEWay,更换问题部件;前后轴承双头接地技改需要试验探讨。

#### 2. Vog

故障触发条件:VOG输入信号在500ms内失败。

防范措施:检查电感传感器(已更换为低温型),检查导线以及继电器的状态,更换问题备件。

#### 3. 模块出错

故障触发条件:INTERBUS模块出错,保持了2秒钟。

防范措施:检查LED亮度是否足够,更换问题模块。

#### 4. 烟雾传感器

故障触发条件:烟雾传感器被触发长达3秒钟后报警。

防范措施:检查烟雾传感器的状态,清理烟雾传感器内灰尘。

#### 5. 液压站油温高

故障触发条件:液压站油温达到65度,或温度模块损坏。

防范措施:检查液压站油温,检查PT100状态。检查变桨油缸、液压阀是否内泄,更换问题部件。

#### 6. 底部急停回路断开

故障触发条件:地面控制柜急停按钮按下。

防范措施:此故障多为塔底复位产生,非自动触发故障。

### 四、结论

该现场结合实地调查和对故障原理的细致分析,判断出了造成210高速刹车未释放故障的根本原因,并梳理出了对应的防范措施,大大降低了风电机组的故障停机时间,减轻了检修人员的工作量,做到了机组的预防性维护。并且此故障对应的措施,可以在相同机型风电机组间推广使用。

### 参考资料

- [1]尹刚志. 谐波侵入引起风电场风机故障分析及抵御策略研究[J]. 电工技术, 2018(19):142-145.
- [2]贺益康,徐海亮. 双馈风电机组电网适应性问题及其谐振控制解决方案[J]. 中国电机工程学报. 2014,(29).
- [3]林伟,乌兰. 一种风力发电机导轨移动检修平台[J]. 今日制造与升级. 2023,(3).
- [4]聂红新,宋亮,侯艳真. 芳地坪风电场风机故障分析及性能优化[J]. 技术与市场, 2017,24(6):21-22,24.
- [5]张冬梅,刘昕彤. 风电场管理中对故障风机的维修调度方案优化[J]. 河北水利电力学院学报, 2019(3):61-65.
- [6]陈玉,文明浩,胡列翔,等. 双馈风机风电场联络线出口故障方向判别[J]. 电力系统及其自动化学报, 2020,32(2):1-6.
- [7]康明虎. 某风电场风机基础故障分析及处理[J]. 可再生能源, 2014,32(6):809-813.
- [8]索新良,谭袖,刘俊廷. 异步双馈风力发电机组刹车系统事故预防研究[J]. 电力安全技术. 2023,25(10).
- [9]陈旭. 浅谈风力发电机刹车系统控制策略[J]. 科学技术创新, 2018,(33):46-47.
- [10]张国军. MW级风力发电机组的节能型液压刹车系统[J]. 装备制造, 2014,(S2):94-95.

# 新能源风力发电中的控制技术分析

梁晓军

中电投陵川新能源发电有限责任公司, 山西 晋城 048300

**摘 要：** 随着全球对可再生能源需求的与日俱增，新能源风力发电作为清洁、可持续的能源代表，其重要性日益凸显。控制技术作为新能源风力发电系统中的重要构成部分，不但与风能捕捉效率休戚相关，而且还能直接影响新能源电力输出的稳定性和电网接入的友好性。风力预测技术通过精确预测风速变化，确保风电场调度和运行可以有可靠和完整的数据支持；发电控制技术则能按照风速实时调整运行策略，确保在不同风况下仍然能保持高效发电；功率控制技术可以进一步平衡电力供需，维护电网的安全性和稳定性。在新能源风力发电中采用这些先进的控制技术，既有利于大幅提高风力发电系统的整体性，也能为实现能源结构的绿色转型奠定坚实基础。本文首先阐述新能源风力发电，其次分析新能源风力发电中应用控制技术的重要性，最后探讨新能源风力发电中的控制技术，希望能为相关工作人员提供一些参考。

**关 键 词：** 新能源；风力发电；控制技术

## Analysis of Control Technology in New Energy Wind Power Generation

Liang Xiaojun

CLP Investment Lingchuan New Energy Power Generation Co., Ltd. Jincheng, Shanxi 048300

**Abstract：** with the increasing global demand for renewable energy, new energy wind power generation as a clean and sustainable energy representative, its importance is increasingly prominent. As an important component of new energy wind power generation system, control technology is not only closely related to wind energy capture efficiency, but also directly affects the stability of new energy power output and the friendliness of grid access. Wind power forecasting technology ensures reliable and complete data support for wind farm scheduling and operation by accurately predicting changes in wind speed, while power generation control technology can adjust operational strategies in real time according to wind speed, power control technology can further balance power supply and demand, and maintain the security and stability of the power grid. The application of these advanced control technologies in new energy wind power will not only greatly improve the integrity of the wind power system, but also lay a solid foundation for the green transformation of the energy structure. This paper first expounds the new energy wind power generation, then analyzes the importance of the application of control technology in the new energy wind power generation, and finally discusses the control technology in the new energy wind power generation, hope to provide some reference for the relevant staff.

**Keywords：** new energy; wind power generation; control technology

新形势背景下，虽然整体经济市场呈现出繁荣富强的发展态势，但是全球能源危机和环境保护的双重挑战日益加剧，新能源风力发电作为绿色、低碳、可持续的能源解决方案，备受瞩目。风力发电系统的关键点在于可以将变幻莫测的风能高效、稳定地转换为电能，该过程对控制技术有非常高的要求。从准确的风力预测开始，控制技术则能发挥风向标的作用，提前洞察风势，为风电场布局和调度提供可靠、真实、全面的决策依据。在风力发电机系统运行过程中，控制技术能够通过智能调节的方式，使设备可以在最佳工况下运行，实现最大化的风能捕捉效率。在风力发电输出过程中，功率控制技术的精细化管理，既保证了电力供应的稳定性，也确保了电网的兼容性。

### 一、新能源风力发电概述

风力发电技术作为绿色能源应用的典型代表，已经进入成熟

和完善阶段，其广泛应用促进了全球能源格局的深化改革，该项技术不但可以实现对自然生态环境的最小干预，而且还有着无法比拟的生态环境保护优势，推动新能源发展迈向新的潮流<sup>[1]</sup>。风

作者简介：梁晓军（1986.3-）男，汉族，山西省朔州市右玉县，本科，工程师。研究方向：新能源发电与并网。



力发电凭借零排放、无污染的优势，减轻了温室效应、减少了对传统化石燃料的依赖性，加之风能是一种取之不尽用之不竭的自然资源，保障了能源供应的可持续性和稳定性，为解决能源危机提供了可靠的途径。在全球对可再生能源需求日益增加和生态环境保护意识日渐增强的双重背景下，风力发电已然成为替代传统化石燃料、减少碳排放的重要战略<sup>[2]</sup>。通过精心巧妙地设计风力发电系统中的风力发电机，则能实现最大化捕捉风的动能，将其转换为机械旋转，然后通过驱动发电机产生电能，该过程彰显了人类智慧和自然力量的和谐共生，也意味着绿色低碳经济发展的可行性和必然性。控制体系的不断优化和升级，达到了发电效率和电网稳定性的双重提升效果，使风力发电在新能源领域中的地位越来越稳固<sup>[3]</sup>。

大规模商业风电场毋庸置疑是清洁能源的核心点，将其地址选在风力资源丰富的山顶、辽阔的海滨区域乃至深远海域、辽阔的滨海地带，既能实现自然风力资源的最大化利用，也能达到高效、稳定的电力生产效果，这些风电场除了采用先进的风力发电机组外，还配套了智能化的运维系统，保障了电力输出的可靠性和连续性，并通过高压输电线可以直接接入国家级电力网络，为广袤区域提供了绿色、低碳的能源支持。相较于大规模商业风电场，小型分布式风力发电设施具有灵活性和适应性的特点，其主要分布在偏远山区、岛屿、独立建筑群落中，通过利用局部区域的风能资源，为这些无法接入主电网或电力供应不稳定的区域提供可靠和安全的电力补充，这些小型风力发电机可以使能源实现自给自足，减少对传统电网的依赖，提升能源供应的多样性和韧性<sup>[4]</sup>。

## 二、控制技术在风力发电中的重要性

在风能向电能高效的转换过程中，调控技术扮演着非常重要的角色，其能对风力发电设备的性能表现、运行稳定性、长期安全性产生直接影响。面对复杂多变的风能环境，为了确保风力发电系统可以保持稳定和安全地运行，研发出先进的调控技术迫在眉睫，这些技术除了要求系统可以灵活适应风速、风向等环境因素的动态变化外，还应在提高转换效率的同时，防止设备受到损坏，达到安全和可靠的运行效果<sup>[5]</sup>。基于风速的频繁波动，风力发电设备应具有即时响应能力，通过精准调控机制使其始终保持最佳工作状态。基于先进的风速和风向预测技术，为调控系统提供了全面准确的数据支持，以此实现对风轮叶片角度的精准调控，以及发电荷的精细化管理，旨在最大化风能捕获效率。值得一提的是，如果风力超过了安全标准规定，智能控制模块则要立即介入，自动调整叶片或启动紧急停机程序，减轻设备负荷，防止机械构造受损，保障整个系统的安全和稳定运行。

从某种意义上讲，无论是确保电力体系的稳定运行，还是增强电力体系的应对变动能力，调控技术发挥着非常关键的作用。风能作为一种不连续性、不可测性的能源形式，可以直接影响电网的稳固运行。所以，为了确保风力发电设施输出的精确度，实现电力供应的持续性和稳定性，减轻电网系统的运行压力，则要

有效利用精确化的调控技术。同时，结合精密的管理计划，风力发电机组还可以灵活应用于电网的支持服务中，如频率调节、电压稳定控制，这些措施不但提高了电网的自我调节能力，而且还增强了整个电网系统的稳定性和可靠性，使可再生能源的广泛应用有了坚实支持条件<sup>[6]</sup>。

## 三、新能源风力发电中的控制技术

### （一）风力预测技术

对于变为风力资源转换为电力系统而言，精确预估风力的功能是不可掉以轻心的部分。风力固有的波动特征造成的风电资源在供应过程中展现出不稳定性和不可预测性，该种特性带来了两个方面的影响。一方面，风速的提升可以提高涡轮发电机组的转换效率，从而延长长期稳定的电力供应时间，为电网提供更多清洁能源；另一方面，风力的波动性特质增大了风电和电网规范有序的接入难度，对电网的稳定性和资源接纳能力提出了更高标准要求。所以，精准预测风力已然成为提高电力体系稳定性和资源接纳效率，以及优化风力装置性能的关键。为了实现该目标，通过采用一系列前沿科学技术，如大数据分析、人工智能算法等，打破风力预测技术的瓶颈，提高风力发电预测的精确度。更为重要的是，这些技术不但提高了风力发电预估的准确度，而且还为优化风力发电机组的控制策略提供了强有力支持，有助于风力发电系统保持更加灵活和高效地运行<sup>[7]</sup>。

依托过往丰富的风力数据，结合先进的数学和统计建模技术，则能构建出对未来风力状况进行精准预测模型，该计划的要点在于深度剖析海量风力数据，揭示风速变化的统计规律和内在特性，进而为风力预测提供奠定坚实基础。在具体操作过程中，要采用时间序列分析技术，捕捉风速变化的时序特征；利用机器学习算法优化预测模型，以提高预测结果的精确性和可靠性。另外，还应巧妙融合物理学和统计学模型的优点，通过优势互补的方式，攻克单一模型在预测中的不足，以全面、精准地预估风力状况，为风力发电和电网调度提供相应支持。

### （二）发电机控制技术

在风能转换系统中，发电设备是能量转换的关键点，其精细控制机制的先进性与整个系统的能源转换效率和稳定性息息相关。随着科学技术的不断快速发展，发电设备的调控技术已经从传统的机械式操作转变为高度智能化的电子式调控，这种转变不但提高了设备响应的速度和精确度，而且还实现了对复杂环境因素的实时适应和动态优化。现代风力发电设备因为集成了先进的传感器、控制算法、通信技术，所以可以精准调控电压、频率、相位角，确保输出的电力质量符合国家的电网标准要求，有助于清洁能源实现高效化的利用。对于风速的不可预测性和波动性，风力发电系统设计了复杂的控制策略，如变桨距控制、变速恒频控制等，这些策略可以实时监测风速变化、动态调整风轮转速、发电机输出功率等参数，有效抑制因为风速引发的机组转速波动，确保电力系统运行的稳定性、电力输出的持续性。

在电机调控领域中，向量调控策略是非常重要的方法，其核



心点在于通过精确调整转子和电子电流，全方位准确控制发电机组磁场方向的方向性和强度级，进而实现对旋转速度和输出扭矩的精准调控，该策略适用于永磁同步电动机，尤其是在风速波动的自然环境中，既能显著提高其发电效率，也能确保能源转换的连续性和高效性<sup>[9]</sup>。直接扭矩控制（DTC）技术是一种前沿的电机控制手段，其可以完成对电机扭矩和即时反应和电力的高效率转换，即时调整电动机的定子电压和频率，达到对电动机扭矩和转数的准确调控。DTC技术的应用不但简化了控制流程，而且也降低了对传感器的依赖程度，增强了整个系统的可靠性和稳定性。为了进一步提高风力发电的效率，则要在电力系统中采用前沿的功率点追踪技术（MPPT），该项技术可以实时监测发电机的运行状况，并根据风速变化趋势及时调整发电机的工作点，确保设备始终保持在最优化的能量生产效率上稳定运行，这种即时和灵活的调整机制，提高了风力发电的整体效率，延长了发电设备的使用年限，也为可再生能源的高效应用提供了强有力的技术支持。

### （三）功率控制技术

为了进一步提高风力涡轮机的稳定性和安全性，延长相关设备的使用年限，工作人员必须高度重视风力涡轮机驱动技术的应用，详细内容如下：在风力发电领域中，功率控制技术占据着非常重要的地位，其不但能确保风力发电机组保持高效和持续地生产电力，而且还能始终维持高度的运行可靠性，延长设备的使用年限<sup>[9]</sup>。为了达到最优化的能源产出目的，则要涡轮机的动力源实时精细控制，这就要求相关技术人员必须深入研究风力资源的特性，促使其实现有效利用。在风能向电能转换过程中，既要保证转换过程中的安全性、稳定性、高效性，也要精细化管理电力生产过程，这不仅关乎着能源能否实现高效利用，还是确保电力供应稳定的基础。因此，为了保障电力生产流程的安全性和安全性，则要实施高效的能源控制策略。为了有效应对多样化的工作环境，在风力发电设备中需要融合多元化调控体系，其中，稳定

螺旋桨叶片的失速管理方法，其具有简洁明了的设计思路和较低成本，所以备受青睐，成为应对能源转换系统多变需求的首选方案。该技术通过巧妙的方法可以将流体力学原理应用于实践，主要是将叶片固定安装在轮毂内部，使风力发电机组可以智能地自我调节适应风速波动，保证了电力的稳定输出。

基于实际风力条件的考量，通过采用先进的技术手段可以准确调整螺旋桨叶片的倾斜角度，灵活控制风力发电机组动力的输出量，该特性可以使机组及时响应外部环境的变化，并根据风电系统的实际情况开展全面细致的优化调整。当风力发电机组的发电量无法达到预设目标时，该技术可以智能地维持叶片处于最佳工作角度，确保风力发电机组保持高效运行，提高发电量乃至达到理想水平；如果风力发电机组的发电量输出超过了安全设定值，系统则会启动智能调控机制，通过对叶片角度的优化调整，则能有效降低能量输出，使其在最短时间内回归至安全范围内，该机制不仅防止了因为超负荷运行对机械设备造成的潜在损害，还保证了风力发电过程中的安全性和稳定性<sup>[10]</sup>。

## 四、结语

风电资源作为一种清洁、可再生能源，高效充分利用这类资源，对促进绿色低碳经济发展有很重要的意义。在新能源风力发电中，控制技术发挥着至关重要的作用，其不仅涉及了风力预测的准确控制，还涵盖了发电机组和功率输出的精细调控，每项技术都与风力发电系统的高效性和稳定性有紧密联系。随着控制技术的不断迅速发展，新能源风力发电必定朝着更加高效、可靠的方向前进，为全球能源结构的绿色转型和环境保护注入新的动力。所以，在未来新能源风力发电的开发和利用过程中，必须加大控制技术的深入研究力度，以提高风力发电效率，推动可再生能源的广泛应用。

## 参考文献

- [1] 徐兴朝. 信息化控制在风力发电控制系统中的应用 [J]. 大众用电, 2021, 36(04): 80-81.
- [2] 鲁民, 李冰皓. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用前景探讨 [J]. 时代农机, 2020, 47(6): 81-82, 84.
- [3] 杨威. 新能源时代电力电子技术在风力发电中的应用分析 [J]. 电气技术与经济, 2023(8): 54-56.
- [4] 朱加敏, 李唐科. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用前景探讨 [J]. 电脑爱好者 (普及版) (电子刊), 2020(6): 4467-4468.
- [5] 廖文朋. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用前景研究 [J]. 城市情报, 2020(24): 87-88.
- [6] 李杰龙. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用前景 [J]. 电脑爱好者 (普及版) (电子刊), 2020(11): 3665-3666.
- [7] 李杨. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用 [J]. 百科论坛电子杂志, 2021(8): 1703.
- [8] 李耀光. 关于风力发电控制技术及其发展趋势的讨论 [J]. 中国科技投资, 2021(13): 104-105.
- [9] 蒙泽宇. 新能源风力发电系统中自适应控制技术及应用 [J]. 电脑校园, 2020(12): 204-205.
- [10] 杨锐. 我国新能源风力发电现状及发展对策探究 [J]. 汽车博览, 2022(10): 91-93.

# 新能源风力发电技术分析

吴军

中电投陵川新能源发电有限责任公司, 山西 晋城 048300

**摘 要：** 当前，随着社会发展速度的不断加快以及国家经济实力的逐步提升，能源匮乏的问题逐渐显化。当代人民群众对于电力资源的需求逐渐攀升，虽推动了电力行业的转型发展，但也会对能源造成较大损害。为此，合理开发可再生自然能源，成为当代电力行业发展的必要选择。风力发电技术作为当前电力行业中主要技术手段之一，优势明显。而以此为前提，加大新能源风力发电技术的开发，也具备较高的紧迫性与必要性。

**关 键 词：** 新能源；风力发电；技术分析

## New Energy Wind Power Generation Technology Analysis

Wu Jun

CLP Investment Lingchuan New Energy Power Generation Co., Ltd., Jincheng, Shanxi 048300

**Abstract：** At present, with the accelerating speed of social development and the gradual improvement of national economic strength, the problem of energy shortage is gradually apparent. People's demand for power resources is gradually rising, which promotes the transformation and development of the power industry, but it also does great harm to energy. Therefore, reasonable development of renewable natural energy has become a necessary choice for the development of contemporary power industry. Wind power technology, as one of the main technical means in the current power industry, has obvious advantages. Based on this premise, it is urgent and necessary to increase the development of new energy wind power generation technology.

**Keywords：** new energy; wind power; technical analysis

### 前言

风力发电指的是将风能转化为电能，为大众及社会发展提供电力服务的技术手段。相较于传统发电技术手段，风力发电优势明显，既能够保证电力服务质量，提升风能应用效率，也能够降低电力行业发展中造成的环境污染、能源消耗。为此，在行业发展实践中，应加大对技术的分析与研究，在原本技术基础上，加强新能源风力发电技术的建构。本文将集中于这一背景，简述风力发电原理与新能源风力发电技术的优势，着重探索技术内容、要点以及发展思路。

### 一、风力发电原理分析

风力发电的原理为以风能促进风车叶片转动，加之增速机的辅助，将风能生成的动能，传输至发电机而后发电。风力发电在我国的发展有着悠久的历史，但原本的风力发电系统相对较简单，主要包含两部分，一是发电机，二是风车叶片。随着社会的不断发展，风力发电技术也趋向于成熟化转变，应用功能逐步丰富，整体发电系统结构逐渐复杂。通常情况下，风力发电系统中会包含较多的零件系统，包括但不限于液压系统、齿轮箱、发电偏航系统。除此之外，在风力发电系统中还会运用到风轮叶片以及变桨距风机。系统运行期间，基于当下的风向风力变化，会形成自动化调整，控制发电稳定性；系统运行停止后，会从原有位

置甩出风轮叶片的顶端，以提高阻尼的方式，确保发电机能够安全且彻底停止运行<sup>[1]</sup>。在此过程中，刹车系统、液压系统也会自动启用。

### 二、新能源风力发电技术的优势

#### （一）经济性优势

当前，伴随着社会的不断发展与时代的不断进步，针对风能，大众形成的认识越来越清晰，也越来越全面。在当前的电力行业发展中，风能的应用优势极为明显，具有较高的经济性特征。相较于传统发电成本，风能、价值相对偏低，可有效控制发电设施的建设与运行经济压力。

作者简介：吴军（1987.4-）男，汉族，山西省长治市潞州区，本科，工程师。研究方向：新能源发电与并网。

## （二）建设性优势

相较于其他常规发电技术，新能源风力发电的建设周期相对较短，电力企业可在较短时间内完成风力发电系统的建设任务并快速投入供电工作中。尤其是在当今时代，随着风力发电技术的逐渐成熟与转型升级，整体建设周期将会出现进一步的简化，且可充分满足社会分散性的电力发展需求<sup>[2]</sup>。

## （三）环保性优势

作为一种可再生的能源，风能具有较高的清洁性优势。在利用风能进行发电时，既能够提高能源本身的利用价值，也可弱化对不可再生能源的过度损耗。此外，新能源风力发电技术的合理运用还可充分践行国家推广的能源节约、环保低碳等口号，最大限度降低电力系统建构期间产生的环境污染，明显改善整体自然空间。

# 三、新能源风力发电技术分析

## （一）风功率预测技术

在当前风电场运行发展过程中，风电系统的发电功率会受到诸多因素的影响，而呈现出不稳定的状态。其中最主要的影响因素便是风力。往往风力越大，风电系统的发电功率越大，反之风力越小，风电系统的发电功率也会出现明显降低<sup>[3]</sup>。为有效弱化风力大小造成的稳定性影响，可基于新能源风力发电角度合理引入风功率预测技术，以该技术合理预估一定时间段的风电系统功率变化情况，而后合理调整电网运行方式，以此尽量提高电网稳定性，确保电网能够接受更多的风电资源。在风功率预测技术使用过程中需关注以下几大要点。

一是合理架构预测周期。基于风功率预测工作对于预测时间形成的需要及要求，可将预测周期划分为三类。如超短期预测、短期预测以及中长期预测。如在风电实时调度工作中，通常使用超短期预测技术；在机组调度、备用资源调度工作中，通常使用短期预测技术；而在系统维护风能评估等工作中则优先选择中长期预测技术<sup>[4]</sup>。

二是建立完整预测模型。在风功率预测工作中可采取的预测方法较多元，如物理预测、统计预测与组合模型预测。其中物理预测通常需要以气象学理论作为支撑，工作人员需先模拟风电厂区域内的气候情况，基于收集到的各类物理信息建立虚拟化预测模型，而后将其组合于风电机组功率的精准预测风电功率。在该类模型建立使用过程中，需关注的一大要点在于，合理判断模拟过程中风向、风速、空气密度等关键参数要素造成的影响，并合理借鉴，生成电力调度方案，以此弱化预测结果及现实之间误差过大引发的各类影响；统计预测是新能源风力发电过程中风功率预测的主要技术手段之一，可辅助工作人员有效划定预测对象及统计结构间的数据关系，精准把握风电场的风功率变化规律。在实际工作中，工作人员需把握两大要点，一是统计算法，二是统计结果，以此切实提高预测精准性。

在风功率预测工作中，为切实规避上述两种技术形成的缺陷与问题，工作人员还可有效整合组合模型预测法，以此吸收以上

两类方式的优势，规避不良影响。组合模型预测法的综合性相对较高，实际使用中工作人员需展开全面的现场勘察工作，能够充分了解当地的气候条件及地形条件，把握实际性原则，考虑当地实际风电场发展需求的基础上，精细化调整气象模型，进一步提高预测计算精准度。

## （二）风电机组功率调节技术

从理论角度来看，当风能密度达到一定标准，发电机自身的功率将会直接影响到整个风力发电系统的发电能力<sup>[5]</sup>。对此，适当引入功率调控技术便显得尤为重要，可尽量控制风力发电系统的稳定性。从原理角度来看，风电机组存在的根本价值在于，有效调整并转换风能、电能、机械能。并且，该构件可有效加强整个系统的风捕能力，使得发电功率稳步提高。但当发电机组周边风力突然增大时，则需及时对机组的结构强度及发电容量进行分析，适当调控，确保机组安全稳定，避免因过载而引发风险。在新能源风力发电技术中，较常见的风电机组功率调节技术共包括两类。

一是定桨距失速调控。该技术的应用方式为，确保材料刚度的前提下，在结构表面安装轮毂及固定螺距风机叶片，以焊接方式提高整体架构的稳定性。该技术的优势在于可有效调整发电系统结构，使得整个风电机组在运行过程中达到更稳定的状态。

二是变桨距控制技术。该技术的优势在于，可根据当下风况，灵活调节桨距。通过这一方式，精准调整涡轮机的输出功率。但该技术应用中有着较为严格的条件限制。例如，当风电机组的输出功率低于额定功率时，工作人员难以利用该技术调整将桨距角，而是会使之稳定停留在零度位置<sup>[6]</sup>。但若反之，该技术支持下的变桨距控制系统会自动运行，以当下的风况为依据展开自主分析，在调整风电机组输出功率的过程中，使之处在额定功率安全范围内。从技术使用效果角度上来看，变桨距控制技术的主动性、自动性相对较高，可有效解决桨距被动失速而引发的各类问题或安全风险。此外，该技术可有效控制风轮旋转后形成的正桨距角参数，确保风电机组运行期间能够获得较稳定且较大的启动力矩，保证发电效率。

## （三）风电无功电压自控技术

风电无功电压自控技术的自动化水平相对较高，但相较于其他技术手段该技术对于客观条件的要求较为严格，需要有多套系统同步参与。如监控系统、风电无功电压系统、自动控制系统等，在该技术的有效支持下，各自动控制系统可实现有效集成，以完整系统提高发电机组的运行稳定性。除此之外，也可以外挂形式进行系统间的有效联合，切实提高发电站的独立性。在新能源风力发电机组运行过程中，工作人员可利用风电无功电压自控技术，有效监测设备的无功电压，精准了解无功电压数据变动，形成及时反馈，以便于灵活调整电力调度方案。

技术使用中包括两类方案，一是远程控制方案，二是现场控制方案。其中前者可在自动化技术的支持下实现远程追踪，基于无功电压控制目标，灵活调整电力调度标准<sup>[7]</sup>。而在运用现场控制方式进行风力发电管理时，工作人员则需要以预定的并网点电压目标曲线为目标，通过控制曲线的方式控制发电。此外，在



该技术运用过程中，工作人员也可采取人工管理手段控制子站运行状态，通过人工开启、人工闭锁的方式，规避自动化系统运行形成的风险。在人工干预与自动系统相融合的过程中，切实提高风电场设备运行的稳定性及安全性。

（四）并网风力发电技术

新能源风力发电系统运行过程中，工作人员可将收集到的风能有效传输至并网双控系统，基于系统中的传动模型的转化生成电能<sup>[9]</sup>。当前，并网风力发电技术使用中，需借助的主要工具为永磁体技术型直驱发电机组。机组运行期间，若风能相对偏低，工作人员可利用变流器设备对发电机组加以管控，灵活调整机组输出功率，确保达到额定功率要求。在并网风力发电技术实施期间，工作人员需关注以下两大要点。一方面，可合理运用变流器，利用该设备对侧电流形成精准控制，确保机组电流输出稳定；另一方面，可合理引入网侧电流控制系统，以此对系统内部的电网组织形成精准调控，也可以实现进入电网前后风电功率的灵活调整。

四、新能源风力发电技术发展思路

（一）贯彻创新发展原则

在新能源风力发电技术发展过程中应充分践行新能源发展原则，着重关注工作中的质量问题及安全问题。发电期间，工作人员需对风力发电装置的整体运行状态及当地的电力负荷需求形成充分了解，确保两者可稳定对接。此外，在风力发电源使用中，工作人员还需做好协调工作，确保风力发电源与其他电源能够形成协调关系，确保电力系统稳定运行安全运行。需充分践行经济性原则，能够以新能源发电总量为根本指标，合理调整新能源风力发电方案，促进风力发电综合优势稳步体现，并实现风力发电比重的优化<sup>[9]</sup>。

（二）加强发电成本管理

加强成本管理是促进新能源风力发电技术稳定发展的重要条件。当前，因风力发电工程条件影响，通常需将其开展于较开阔的地区。而这也就在一定程度上延长了成本回收周期。此外，该类工程往往会被自然环境影响，加之风能资源的不稳定性相对较

高，也会引发较大的工程风险。因此，在实际投资过程中，应做好全面的预测性工作，并生成完备投资方案，能够科学选址、建构稳定资金链条，确保后续各项工作稳定深入。

（三）加大系统容量分析

当前，虽然新能源风力发电技术呈现出良好优势，但在实践中也存在较多问题，集中表现为过度依赖自然条件、风力发电技术并不成熟且并不完善<sup>[10]</sup>。对此，相关领域从业者可将研究重点集中在风力发电的容量或大方面，能够加大系统开发力度与利用力度，进而推动技术稳步创新，为风力发电行业的健康发展提供必要支撑。除此之外也可紧跟时代发展脚步，有效整合大数据技术，以打造智慧电源模式体系。在大数据技术与风电技术的整合下，精准管理能源的利用及消耗，确保风力发电功率稳定的同时，提高企业的经济效益。

（四）发展海上风电系统

相较于陆地风能系统来看，海上风电系统的功能优势更加丰富，一方面海上风能更加充足另一方面，海上风能更加稳定，新时期背景下为促进新能源风力发电技术的创新化稳定化发展，可加大海上风电场的建设力度。但在相关任务实施过程中，也应关注四大优点，第一能够解决电力输送的障碍，建立稳定电力输送通道。第二，能够生成完备的建设方案已充足，准备减少后期工作中的障碍及隐患。第三，能够建立完整投资方案，并尽量拓展投资渠道，以充足资金支持整体工作持续深入。第四，能够加强协调控制技术的创新与研究性格，提高整体系统运行稳定性。

五、结论

综上所述，在高举环保节能旗帜的当今时代，各行业发展过程中都应将注意力集中在可再生能源的开发与使用方面，电力行业自然也不例外。结合本文分析来看，在未来的发展中，新能源风力发电技术有良好前景。因此，当下环境中，需要加大对技术的关注与研发，能够把握清晰的发展思路，践行正确发展准则，在此基础上，充分发挥新能源风力发电技术的经济性、建设性、环保性优势，推动电力事业可持续发展。

参考文献

[1] 秦永军. 新能源风力发电技术及其发展趋势分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12 (19): 162-165.  
[2] 付增业. 关于新能源发电风力发电技术的探讨 [J]. 科学技术创新, 2019, (36): 145-146.  
[3] 雷建国. 风电和光伏发电中的关键技术分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39 (11): 324-325.  
[4] 牛自强, 尚益章. 新时期新能源风力发电相关技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12 (30): 185-188.  
[5] 史佳钰. 新时期新能源风力发电相关技术研究 [J]. 电子世界, 2021, (13): 8-9.  
[6] 邓民伟. 新能源风力发电中的控制技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40 (03): 350-351.  
[7] 刘轩. 新能源风力发电中的控制技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40 (12): 260-261.  
[8] 高阳. 新时期新能源风力发电相关技术分析 [J]. 华东科技, 2023, (05): 104-106.  
[9] 周鸿鸣. 基于新能源发电的风力发电技术研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (19): 157-159.  
[10] 陈文静. 新能源风力发电系统中自适应控制技术的应用及未来前景 [J]. 电子测试, 2022, (16): 104-106.



# 电力工程施工安全管理新模式探讨

郭洪涛

上海能源科技发展有限公司，上海 200233

**摘 要：** 电力工程具有覆盖范围广、工程投资大、施工周期长等特点，为了保障电力企业的经济效益和社会效益，必须加强电力工程施工安全管理。基于此，本文首先分析了当前电力工程施工安全管理现状，阐述了施工安全管理新模式探究的重要性，并针对新模式应用中存在的问题，提出了相应的优化策略，期望能为未来的电力工程发展做出贡献。

**关 键 词：** 电力工程；施工安全管理；新模式探讨

## Discussion on the New Mode of Safety Management in Electric Power Engineering Construction

Guo Hongtao

Shanghai Energy Technology Development Co., LTD, Shanghai 200233

**Abstract：** Electric power engineering has the characteristics of wide coverage, large project investment, long construction cycle and so on. In order to ensure the economic benefits and social benefits of electric power enterprises, it is necessary to strengthen the safety management of electric power engineering construction. Based on this, this paper first analyzes the current situation of construction safety management of power engineering, expounds the importance of exploring the new mode of construction safety management, and according to the problems existing in the application of the new mode, puts forward the corresponding optimization strategy, hoping to make contributions to the development of power engineering in the future.

**Keywords：** electric power engineering; construction safety management; new model discussion

## 引言

目前我国经济高速发展，社会生产与人民生活水平不断提高，能源消耗也随之增长，因此对电力需求也不断增加。由于电网规模日益扩大，技术难度逐步加大，所以在实际建设过程中存在许多问题，如：建设管理不到位、施工质量差、监管力度不够等，这些问题会严重影响到电网工程的施工安全。所以，应加强对电力工程施工安全管理工作的重视，创新电力工程施工安全管理新模式，降低电力工程施工风险，为电网工程安全运行奠定坚实基础。

## 一、电力工程施工安全管理现状

### （一）国内外电力工程施工安全管理技术差异

当前，国内外在电力工程施工安全管理技术方面存在显著差异。国内在电力工程施工中，虽然已经形成了一套较为完整的安全管理体系，但在技术应用和精细化管理方面仍有待提升。部分企业仍依赖传统的经验管理，缺乏现代化的技术手段和数据分析支持，导致安全管理效率不高，风险隐患难以有效排查和控制。相比之下，国际先进国家在电力工程施工安全管理上更加注重技术创新和标准化建设。他们广泛采用智能化、信息化手段，如无人机巡检、远程监控等，实现对施工现场的实时监控和数据分析，提高安全管理水平。同时，他们还建立了严格的安全管理制度和标准化作业流

程，确保施工过程中的每一个环节都符合安全规范，有效降低了安全事故的发生概率。因此，国内电力工程施工安全管理需要借鉴国际先进经验，加强技术创新和标准化建设，提升安全管理效率和质量，确保电力工程施工安全顺利进行。

### （二）国内外电力施工安全管理理念差异

电力工程施工安全管理现状不容忽视。在国内，由于施工人员技术知识不足、缺乏规范操作和安全意识，以及监督管理机制的不完善，导致安全事故频发。此外，部分企业在成本控制压力下，聘请经验不足的人员进行施工，进一步加剧了安全风险。相比之下，国外在电力施工安全管理方面展现出了更为先进和成熟的理念。例如，欧美国家建立了完善的安全管理体系，包括企业外部的安全监察部门和企业内部的安全管理健康部门，共同确保

作者简介：姓名：郭洪涛（1981.01-），男，汉，籍贯：吉林扶余，大学本科，高级工程师，研究方向：电力工程安全质量及标准化管理。

施工安全。

### （三）国内政策法规与标准执行现状

随着技术的不断进步，电力工程项目规模逐渐扩大，施工难度和风险也随之增加。基于此，近年来国家出台了一系列电力工程施工安全管理的政策法规和标准，为电力工程施工提供了有力的法律保障和技术指导。然而，在实际执行过程中，仍有一些企业和个人存在违规操作和违法施工的现象，给电力工程施工安全带来了潜在威胁。因此，加大政策法规的宣传和执行力度，增强企业和个人的法律意识和安全意识，是保障电力工程施工安全的重要措施。

## 二、电力工程施工安全管理新模式探讨的重要性

### （一）提升工程安全水平，减少事故风险

电力工程是一个非常复杂的系统，施工过程中容易出现一些安全事故。特别在当前电力建设市场竞争激烈的背景下，要想实现经济利益最大化，就必须保障工程项目的高质量完成，确保施工安全顺利进行。企业需要通过不断加大安全管理力度，创新管理方式，来有效降低事故风险，为电力工程施工提供良好的环境和条件。

### （二）优化资源配置，提高施工效率

随着电力工程建设规模的扩大，项目工程数量也逐渐增加。如果每项工程都由相关负责人单独负责，在一定程度上会造成资源的浪费，无法实现合理配置。由于我国目前电力系统中存在的管理模式比较落后，对于安全生产、施工质量等方面没有形成明确的管理制度和体系，从而影响到整个工程的施工进度和质量。基于此，建立安全管理新模式后可以优化资源配置，对施工单位、人员、设备进行合理的配置，将人力、物力以及财力都充分利用起来，保证各项资源都能得到高效利用，实现施工效率的提高。

### （三）增强企业竞争力，树立行业标杆

在当前复杂市场环境的背景下，电力施工企业需要从自身出发，对现行的安全管理模式进行全面优化，构建一套科学合理的安全生产管理机制。新模式的构建，可以在保证电力施工安全的基础上，实现电力施工企业的经济效益提升，使得电力工程施工安全管理新模式具有了更大的实际应用价值。因此，电力企业应该结合行业发展要求，积极探索新形势下的安全管理模式，并将其应用于实践中，确保电力企业的长期稳定发展<sup>[1]</sup>。

### （四）促进法律法规遵守，强化合规性

电力企业进行项目施工管理过程中，应严格遵守国家的相关法律法规。目前，我国已经颁布了一系列关于电力工程建设安全生产的法规、条例，其中包括《电力法》《建筑法》《特种设备安全法》等，这对于电力企业的项目施工安全管理工作具有重要的指导意义。但是在实际执行过程中，部分电力企业却未能充分认识到自身应履行的法律责任和义务，导致项目施工安全事故频发，影响了电力行业健康发展。因此，通过对电力工程施工安全管理新模式进行探讨，并不断完善安全管理机制，能够有效促进法律法规的遵守，提高企业合规性。

## 三、电力工程施工安全管理新模式实施中的难点

### （一）受传统观念与模式的影响

传统的施工管理模式中，无论是在安全管理理念上，还是在安全管理体系方面，都与电力工程实际情况存在一定差异。目前电力企业采用的管理方式主要是以“以人为本”为主的人性化管理方法，这种管理方式需要通过人为来实现安全生产，容易受人为因素影响，导致管理效率降低，新的管理模式应运而生。但在实际应用中，存在一些企业受传统观念影响较重，使其对新管理模式应用的重视程度不够，导致实施过程中出现了很多问题，严重影响到了电力工程施工安全管理新模式的发展<sup>[2]</sup>。

### （二）技术与资源的匹配问题

电力工程施工安全管理新模式实施中的难点不仅在于制度的推行和人员的配合，更在于技术与资源的匹配问题。随着技术的不断更新换代，电力工程施工对技术水平要求也日益提高。然而，在实际施工过程中，往往存在技术更新滞后、技术人员水平参差不齐等问题，这给安全管理带来了巨大挑战。同时，资源的有限性也限制了安全管理措施的有效实施。如何确保技术与资源的有效匹配，是电力工程施工安全管理新模式实施中亟待解决的关键问题<sup>[3]</sup>。

### （三）人员培训与成本控制冲突

在电力工程施工安全管理新模式的实施过程中，人员培训与成本控制之间的冲突成为当前企业考虑的重点。随着电力工程的不断发展，对施工人员的技术水平和安全意识提出了更高的要求。然而，高水平的人员培训需要投入大量的资金和时间，这往往与项目成本控制的目标相冲突。如何在保证施工人员技能和安全素质的同时，合理控制培训成本，成为电力企业面临的重要挑战。为了解决这一难题，企业需要探索更加高效、经济的培训方式，如利用互联网技术开展远程培训，或者通过内部挖潜、师徒传承等方式，增强培训效果，降低培训成本。

### （四）制度与政策的适应需要时间

在电力工程施工安全管理新模式的实施过程中，由于电力行业的特殊性和复杂性，其安全管理制度和政策往往涉及多个层面和多个利益相关者，包括政府监管机构、电力企业、施工单位、监理单位以及广大社会公众等。因此，在引入新的安全管理模式时，需要确保新模式与现有的制度和政策相衔接，避免出现脱节或冲突的情况。然而，这一过程并非一蹴而就。新模式的实施需要时间来逐步推广和普及，同时也需要各方利益相关者共同学习和理解新模式的核心理念和操作方法。此外，由于制度和政策的制定和调整往往需要经过复杂的程序和流程，这也增加了新模式适应现有制度和政策的难度。因此，在实施过程中，需要充分考虑到这些因素，采取有效的措施来推进新模式的顺利落地。

## 四、电力工程施工安全管理新模式的应用优化策略

### （一）强化安全文化建设，提升全员安全意识

在如今的电力工程项目施工当中，必须加强安全文化的建

设。这就需要从加强管理人员的安全意识入手，做到对危险隐患的预控。其次，要通过反复的安全宣传教育，让职工建立起正确的安全管理理念，认识到企业文化和个人利益的联系，提高企业的凝聚力和向心力。最后，通过宣传教育和考核激励等手段，使企业员工主动投入到安全生产中，营造安全生产环境<sup>[4]</sup>。

**（二）完善安全管理制度，实现精细化管理**

在电力工程施工安全管理中，完善安全管理制度并实现精细化管理是至关重要的。首先，企业应建立全面、系统的安全管理制度，明确各级管理人员和施工人员的安全职责，确保安全管理工作的有序进行<sup>[9]</sup>。同时，制度应涵盖施工全过程，包括施工前的安全准备、施工中的安全控制和施工后的安全总结，确保每个环节都有相应的安全管理措施。为了实现精细化管理，企业可以引入先进的信息化手段，如安全管理系统、智能监控设备等，对施工现场进行实时监控和数据分析。通过数据分析，企业可以及时发现潜在的安全隐患，并采取相应的措施进行整改。此外，企业还应建立定期的安全检查和评估机制，对施工现场的安全管理情况进行全面评估，确保安全管理工作的持续改进<sup>[8]</sup>。

**（三）加强施工现场监管，确保作业环境安全**

在电力工程施工安全管理新模式的推行中，加强施工现场监管是确保作业环境安全不可或缺的一环。首先，应建立健全现场监管机制，明确各级监管人员的职责与权限，确保监管工作有章可循、有据可依。其次，利用现代信息技术手段，如安装监控摄像头、应用智能巡检系统等，实现对施工现场全天候、全方位的实时监控，及时发现并纠正安全隐患。同时，定期组织安全检查与评估，对施工现场的安全设施、作业流程等进行全面排查，确保所有安全措施得到有效执行<sup>[7]</sup>。

**（四）优化资源配置，提升应急响应能力**

随着科技的发展，传统的电力工程施工安全管理技术与模式已经逐渐乏力，应用新的管理手段显得尤为迫切。而在电力工程施工安全管理新模式的应用过程中，优化资源配置与提升应急响应

能力是至关重要的。首先，我们需要对各项施工资源进行科学合理的配置，包括人力资源、物资设备、技术资金等。通过精准预测工程需求，合理调配施工人员，确保每个岗位都有合适的人员负责，避免人力资源的浪费或不足。同时，加强物资采购与库存管理，确保施工所需物资设备能够及时到位，避免因物资短缺而影响施工进度和安全。此外，还应加强与当地政府部门、医疗机构等单位的沟通协作，形成应急联动机制，共同应对各类突发事件。通过这些措施的实施，我们可以有效提升电力工程施工安全管理的应急响应能力，保障施工人员的生命安全和工程建设的顺利进行<sup>[5]</sup>。

**（五）加大资金投入，推动技术创新**

在当今不断变化的电力行业中，实施新的电力施工安全管理模式显得尤为重要。为了确保这一新模式能够发挥其应有的作用，电力企业需要增加对安全生产的投资，从而提升管理水平和作业效率<sup>[10]</sup>。为此，企业应当通过引进尖端技术和创新方法，以增强其在电力施工领域内的竞争力和市场地位。首先是注重安全设备的购置和更新。施工现场应该配备足够的防护装备，如个人防护用具、安全帽、安全带等，这些都是保障工人安全必不可少的工具。其次，也应设置明显且易于识别的警示标志，提醒工人注意施工环境中潜在的风险，并采取适当的预防措施。这些设备和标识应当定期检查和维修，以确保其有效性和可靠性，从而为施工现场提供更加全面的安全保障<sup>[6]</sup>。

**五、结语**

综上所述，随着电力施工安全管理模式的转变，电力企业必须采取切实有效的措施来强化安全管理体系。从培训到设备，再到管理流程，每一方面都不容忽视。这样做将有助于构建一个更安全、更高效、更有预见性的电力工程建设平台，为整个电力行业树立起新的标杆。

**参考文献**

[1] 朱嘉. 安全技术管理在电力工程施工中的应用探究 [J]. 通讯世界, 2024, 31(01): 73-75.  
[2] 胡常青. 电力工程施工安全管理与质控路径探讨 [J]. 工程建设与设计, 2023(18): 211-213.  
[3] 史延钊. 信息化背景下10kV电力配网工程施工安全管理技术研究 [J]. 电气技术与经济, 2023(10): 290-292.  
[4] 王世杰; 李德保. 配电网电力工程技术及其施工安全问题 [J]. 装备维修技术, 2020(02): 79.  
[5] 王琦, 潘铁铮. 电力工程施工现场临时用电的特点与安全管理措施探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (30): 4-6. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202330002.  
[6] 张明. 电力工程施工的安全管理控制 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(01): 206-207. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.01.086.  
[7] 胡仕卫, 丁杭, 舒卫中, 等. 电力工程施工安全管理问题的探讨 [J]. 科技与创新, 2015, (15): 62+64. DOI: 10.15913/j.cnki.kjyex.2015.15.062.  
[8] 谢杰. 电力工程施工安全与管理对策分析 [J]. 科技创新导报, 2019, 16(19): 176-177. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2019.19.176.  
[9] 孔德旭, 罗凯. 电力施工与电力检修的安全管理 [J]. 中国电力企业管理, 2023, (30): 52-53.  
[10] 姜红波. 电力工程管理中的安全问题浅析 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2022(03): 4-5.

# 农配网工程施工合同管理在安全质量管理中的作用研究

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：** 随着我国电力市场改革的不断深入，电网建设工程也进入了快速发展阶段。其中农配网工程是国家电网公司为了满足农村地区用电需求而实施的一项重要基础设施项目。其质量与安全直接关系到广大农民朋友的切身利益，影响着整个农村社会的健康发展。本文从合同管理入手分析如何在农配网工程施工中做好安全质量管理工作，旨在提高农配网工程建设管理水平，确保工程质量和安全，促进农村社会经济更好更快地发展。

**关 键 词：** 农配网；合同管理；安全质量；作用研究

## Research on the Role of Construction Contract Management of Agricultural Distribution Network Engineering in Safety and Quality Management

Yalikun · Sulitan

Kashgar Power Supply Branch of State Grid Kashgar Power Supply Company, Kashgar, Xinjiang 844000

**Abstract：** With the deepening of China's power market reform, the power grid construction project has also entered a stage of rapid development. Among them, the rural distribution network project is an important infrastructure project implemented by the State Grid Corporation of China to meet the electricity demand in rural areas. Its quality and safety are directly related to the vital interests of the vast number of farmers and friends, and affect the healthy development of the entire rural social economy. This paper analyzes how to do a good job in safety and quality management in the construction of agricultural distribution network projects from the perspective of contract management, aiming to improve the construction management level of agricultural distribution network projects, ensure the quality and safety of projects, and promote better and faster development of rural social economy.

**Keywords：** agricultural distribution network; contract management; safety and quality; role studies

## 引言

在我国，农村电网是与国民经济发展和人民生活水平提高相适应的重要能源基础设施，是为广大农民生产、生活提供电力供应的重要保障。随着新一轮农网改造升级工程的不断推进，农配网工程的重要性日益凸显，其安全可靠性和对广大农村地区的经济社会发展具有十分重要的意义。因此，加强农配网工程施工合同管理，做好安全质量管理工作，已成为当前迫切需要解决的问题。

## 一、当前农配网工程施工合同管理现状

### （一）合同管理制度与执行现状

在农配网工程的建设过程中，施工单位一般都会与施工方签订合同。但在实际运行中，很多施工方为了降低自身成本，经常采取低价中标的方式，这就使得施工项目的整体质量难以得到保障。同时，由于建筑市场中存在着诸多不规范行为，所以某些施工单位也会出现擅自修改工程合同的情况，从而影响到整个工程施工项目的安全质量。此外，还有部分施工企业在管理意识上较为薄弱，其对施工合同的重视程度较低，只是简单地将合同看作

是一种形式而已，从而忽略了合同管理的重要性。基于此，建议相关部门应当加强对农配网工程施工合同管理制度和执行情况的监管力度，以从根本上提升农配网工程的安全质量管理水平。

### （二）风险评估与应对措施

工程项目风险主要包括合同履约风险和索赔风险。在建设过程中，由于各方面的原因可能会造成工程停工、合同延误、价格调整、图纸变更、工程量增加、材料设备供应不及时等情况，导致承包商或业主产生违约行为或者无法按时完工，影响工程正常运行，这是工程项目风险管理面临的主要问题之一。而工程索赔风险是指业主或承包人一方不能依约履行其应尽的责任与义务，

作者简介：姓名：牙里坤·苏力坦（1970.9-），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。



由此造成对方损失，必须承担经济赔偿责任的可能性。因此，只有完善合同管理制度，加强风险评估能力，才能够确保农配网工程的顺利实施。

### （三）合同成本管理与控制现状

当前的农配网工程项目，多数是由县级供电公司委托地方建筑企业进行施工。虽然从国家层面上来看，要求将“三个十条”落实到位，但是在实际操作中仍然存在许多问题。具体表现为，一是业主对项目不够重视，对承包合同的管理与控制意识不强。第二，有关管理人员的素质普遍较低，他们没有足够的专业知识和经验，不能对买卖双方的工作进行有效的指导，因而不能制订出一份科学、合理的合同。第三，缺乏对履约过程的监督和管制，缔约各方都有自己的小算盘，都希望自己的利润最大化，而忽略了对成本和风险的控制。同时，采用工程量清单计价方式，使得工程成本具有很大的不确定性，很容易产生虚高、恶意低价等现象。所以，对施工过程中的工程造价进行有效的管理和控制是非常重要的。

## 二、农配网工程施工合同管理在安全质量管理中的作用

### （一）明确安全质量标准，确保施工规范

农配网工程涉及的施工范围较广，技术要求高，其中存在许多安全隐患，对安全质量提出了更高要求。因此要加强对工程所用材料质量控制与检测，同时要制定健全的监理体系，以防止由于材料的问题而引起的工程质量事故。在订立合同时，要将建设单位的责任、义务和要求加以明确，以便对项目的安全和质量进行管理。此外，在合同签订过程中，还应该考虑到当地的发展水平和居民生活水平等因素，以确保工程能够顺利开展。通过明确安全质量标准，可以有效地指导施工单位按照规范进行施工，从而降低各种安全隐患发生的概率<sup>[1]</sup>。

### （二）约束施工行为，保障工程质量

为保证工程质量，减少安全事故发生，应强化对施工人员的管理，规范其施工行为。而通过合同进行约束是很好的管理方式，明确双方责任和义务，不仅可以降低施工风险，还能保障工程建设质量<sup>[2]</sup>。此外，在实施的过程中，还要加大对建设项目的监管，对存在的问题进行及时的发现和处理，促进建设项目的质量和进度。从总体上讲，加强对建设项目的管理，是保证建设安全、提高工程质量的关键。对此，应引起足够的关注，并采取切实的措施，确保合同条款的严格执行，在确保公共利益不受损害的情况下，使工程得以顺利开展<sup>[3]</sup>。

### （三）强化风险防控，提升安全管理水平

在工程开工前，根据图纸和现场实际情况，将可能发生的各类安全事故进行分析、归纳和分类。在精心策划的基础上，我们将针对具体的施工项目编制详尽的施工组织设计实施方案，并制定专门的安全技术方案。通过这些方案，我们将对施工过程中潜在的安全风险进行全面的识别与评估，从而确保能够有效地应对和控制各种安全问题。此外，我们还将实施分级管理责任制，明

确各级管理人员的职责范围和安全管理的层级要求<sup>[4]</sup>。为了进一步加强安全风险防控工作，我们将结合实际情况，制定相应的防控措施。通过这样的严格管理和持续监控，确保整个施工过程的安全性，为项目顺利进行提供坚实的安全保障。

### （四）促进信息沟通，优化质量管理流程

农业配电网工程建设中，因合同条款的规定，双方之间存在着相互制约和监督的关系。所以，在施工过程中，双方可以按照合同约定的内容，共同保证项目的质量。另外，这种契约方式也可以促使双方进行更深层次的沟通，并通过经常性的沟通与协商，实现对问题的及时发现与解决<sup>[5]</sup>。这样既可以避免可能出现的争端，又可以保证企业之间的和谐与稳定。并且合同中明确规定了责任归属，这不仅有助于企业对施工单位进行更细致的管理，而且也有助于确保工程项目的每一个环节都达到高标准，从而提升整体的工程质量和客户满意度。

## 三、农配网工程安全质量管理中进行施工合同管理的难点

### （一）合同条款的复杂性与精确性难点

农配网工程施工合同，作为一个涵盖广泛要素的复杂文件，其设计需精心考量，确保合同中对工程实施的每一个细节都有详尽的规定<sup>[6]</sup>。合同不仅要求包含详尽的施工图纸，以便施工方能够准确无误地执行工程。还应明确施工方案，确保每个环节都有可操作的指导原则和技术参数。此外，工程量清单是合同的重要组成部分，它详细列出了各项工程所需的材料、人工和设备等资源，为双方提供了清晰的合同履行指标。这样全面而细致的规划，旨在确保整个工程建设的顺利进行，并在质量与成本之间取得平衡。因此，在具体操作过程当中，要严格遵守公平公正、实事求是的原则，并结合国家相关法律法规进行充分论证，在此基础上制定出适合本地区实际情况的合同条款，为后续工作的开展奠定良好的基础<sup>[7]</sup>。

### （二）工程管理人员的综合素质有待提升

由于市场经济体制还不健全，竞争日趋激烈，导致了許多企业为了在市场上脱颖而出，采用各种手段来加强自己的竞争能力，以此来争夺人才资源。然而现实是，一些建筑企业由于缺少先进的经营观念，没有建立起科学的管理制度，导致企业的人力资源使用效率不高，从而影响了工程项目的实施质量和效果。另外，施工场地环境比较苛刻，并且存在各种不确定因素，很容易造成工程技术人员在履行承包任务过程中出错，造成重大的经济损失<sup>[8]</sup>。

### （三）合同风险识别与防控存在难题

农业配电网工程项目在签订合同时，各方当事人未能及时识别出合同风险，致使整个承包管理工作面临着潜在的风险。比如，建设单位与设计、监理之间的矛盾很大，很容易造成项目无法按时完工等一系列问题。又比如，建筑公司和供应商之间常常会发生欠款或供应商所提供的产品质量不符合规定，从而影响了项目的建设进度。此外，在某些特殊工程的施工合同中，也要

对安全方面进行具体的约定,以防止由于安全问题引起的法律争议<sup>[9]</sup>。

#### (四) 合同履行过程中沟通协调的困难

在农配网工程的建设过程中,由于电力企业和施工单位之间的利益关系并不是非常明晰,所以合同签订以后,很容易出现利益冲突。一方面,在电力企业看来,施工单位的工作人员专业知识较低、设备不齐全、技术力量薄弱,难以达到合同约定的标准,从而导致工程质量问题频发<sup>[10]</sup>。另一方面,施工单位认为自己已经按照合同规定完成了工作内容,并且按时向电力企业交付了相应的产品,同时获得了一定的利润,所以不同意对工程进行整改,因此双方经常会产生纠纷。

### 四、农配网工程安全质量管理中进行施工合同管理的优化策略

#### (一) 完善合同订立阶段的风险评估与预防

对于农配网工程施工的安全质量管理而言,合同作为工程项目实施的一项重要文件,其在整个工程管理过程中占据着十分关键的作用。因此为了从本质上提高工程的安全性和质量,我们必须给予合同管理工作足够的重视,确保合同中的规定既符合实际工程项目的需求,又能够与时俱进,适应工程建设领域不断变化的发展趋势。只有当合同条款真正服务于工程目标时,才能保证建设过程中不会出现偏差,从而保障最终成果的质量与安全标准得到有效执行,为工程建设行业的健康可持续发展奠定坚实的基础。

#### (二) 对合同条款进行精细化与明确化的管控

对于农配网工程施工的合同管理工作来说,需要在保证其合理性、科学性以及严谨性的基础上,对合同的条款内容进行严格管控。针对此,管理人员可以结合工程项目建设的实际情况,对相关合同条款进行详细分析与研究,将其中的一些关键性条款进行细化与明确化处理,以确保合同能够充分发挥出其应有作用,促进工程建设项目顺利实施。此外,为了提高合同管理的有效性,管理人员还应加强对市场价格波动的关注,并结合工程施工

进度,在工程实施前通过竞争性谈判的方式确定较优的合作单位,以此来降低工程成本,提高投资效益。同时,管理人员还要做好合同签订之后的监督检查工作,建立起一套完善的奖罚机制,督促各方切实履行各自职责,共同推进工程建设项目有序开展。

#### (三) 加强合同执行过程的动态监管与调整

在进行农配网工程施工合同管理中,应加强对合同执行过程的动态监管与调整。首先对于合同的履行情况,工程管理部门需要定期开展监督检查工作,重点关注施工单位是否按照合同要求进行施工。其次对于出现违约情况的单位,工程管理部门应当及时采取措施解决问题,并依据相关规定予以处罚。最后工程管理部门还应根据实际情况及时与承包方沟通协商,对不合理的条款进行修改调整,保证合同能够顺利执行。

#### (四) 确保合同纠纷解决机制的完善与落实

为了在施工阶段避免合同纠纷的发生,我们应当在签订正式合同之前,严格审核和评估每一个细节,确保合同条款的合法性与合理性。除此之外,一旦合同生效,我们就必须加大对合同履行过程中的管理和监督力度,及时发现并解决可能出现的问题,以保障双方权益不受侵害。只有这样,才能在合同的执行中减少争议,促进合作关系的和谐发展。所以,在发生合同纠纷的时候,要及时采取相应的措施,比如协商、仲裁、诉讼等,保证每个合同的执行和实施。另外,也可以引进第三方机构,使各方能够在更公平、更合理的条件下来解决问题,以防止权力寻租。

### 五、结语

电力作为农业现代化发展的基础,其建设是实现农村经济持续健康发展的重要保障。农配网工程作为当前我国农村地区最大规模的基础设施工程,其施工质量和安全关系着广大农民的切身利益,对整个农村地区社会经济的可持续发展有着重要影响。因此,在实际施工中必须做好安全质量管理,完善合同管理机制,不断提高工程施工管理水平,才能确保农配网工程的顺利实施。

### 参考文献

- [1] 李璇. 10kV 及以下配电网工程施工的质量管理讨论 [J]. 中国新通信, 2019(23):227.
- [2] 国网辽宁铁岭公司: 全力迎战龙卷风 紧急抢修保供电 [J]. 电力安全技术, 2019(07):67.
- [3] 夏松科. 10kV 配网电力工程安全管理提升路径研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2020(09):108-109.
- [4] 毛慧. 基于大数据的电力工程造价信息化管理研究 [D]. 南昌大学, 2019.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2019.001027.
- [5] 张尧. 国家电网公司 S 供电公司市属居配工程项目管理的研究 [D]. 东南大学, 2017.
- [6] 施后祥. 天河潭供配电工程施工管理研究 [D]. 贵州大学, 2021.DOI:10.27047/d.cnki.ggudu.2021.000561.
- [7] 高超. 开发区 110kV 变电站工程的安全管理研究 [D]. 天津工业大学, 2021.DOI:10.27357/d.cnki.gtgyu.2021.000102.
- [8] 付晓娜. ESY 集团公司项目质量风险管理研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2019.DOI:10.27393/d.cnki.gxazu.2019.001503.
- [9] 翟爽. 拉东 220 千伏变电站智能化改造项目进度管理评价及其改进研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2019.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2019.002893.
- [10] 肖智. 风电场集电线路工程施工常见问题分析及对策建议 [J]. 能源技术经济, 2011,23(10):42-45.

# 电力工程施工中的安全生产管理

艾力·马木提

新疆喀什电盛有限责任公司，新疆 喀什 844000

**摘 要：** 近几年来，伴随着经济的快速发展，国内的电力建设也得到了长足的发展，其重要的一个重要因素就是电力工程的建设和发展得到了广泛的关注。工程实践中，对其进行有效的管理，将对整个项目的质量与安全起到至关重要的作用。所以，在电力工程建设中，必须对其进行有效的管理，以确保其能满足人民不断增加的用电要求。文章着重讨论了电力工程建设过程中存在的安全隐患和不健全的安全管理体系，并对这些问题提出了自己的看法和看法，以期能提高社会对电力工程建设中的安全管理工作的关注，从而为其提供有用的意见和建议，从而确保电力工程建设的安全。

**关 键 词：** 电力；工程施工；安全生产；管理

## Safety Production Management in the Construction of Electric Power Projects

Aili · Mamuti

Xinjiang Kashgar Electric Sheng Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang 844000

**Abstract：** In recent years, with the rapid development of the economy, the domestic power construction has also made great progress, and an important factor is that the construction and development of power engineering have received extensive attention. In engineering practice, effective management will play a vital role in the quality and safety of the entire project. Therefore, in the construction of electric power projects, it must be effectively managed to ensure that it can meet the increasing demand for electricity consumption of the people. This paper focuses on the potential safety hazards and unsound safety management system in the process of power engineering construction, and puts forward its own views and opinions on these problems, in order to improve the society's attention to the safety management in the construction of electric power engineering, so as to provide useful opinions and suggestions, so as to ensure the safety of electric power engineering construction.

**Keywords：** electricity; engineering construction; safety; manage

## 引言

电力工程建设过程中，因受各种因素的影响，存在着各种安全隐患。若不能得到有效的处理，将给电力工程的施工带来很大的影响，严重时还会引发重大的安全事故。所以，在实际的电力工程建设过程中，相关的管理人员一定要注意严格执行安全生产管理工作，采取行之有效的方法保证施工人员和施工设备在比较安全的环境下。

## 一、电力工程施工中的安全生产管理不足

### （一）安全意识不强

电力工程施工过程中，安全生产是一个十分关键的环节，然而，在实际的电力工程建设过程中，由于有关管理人员缺乏足够的安全意识，造成了许多安全事故。（1）许多建筑工人对自己的安全意识不够强，特别是一些刚参加工作的工人，对自己的安全保护并不重视。但在实际的工程实践中，工作人员若不能严格遵守自己的安全措施，将会导致自己在实践中的失误。这些失误不但会给施工带来很大的影响，而且有可能会影响到工程的质量<sup>[1]</sup>。（2）电力工程建设过程中，不严格控制所需的器材、所需的材料，将会产生许多问题。尤其是有些新的设备、新材料，在运行过程中极易发生失效。若不能及时发现和解决上述问题，将给电力工程施工带来很大的影响。比如，许多建筑工人在进行电力工程施工时，没有树立起较强的安全意识、责任心。这种人在实施电力工程施工过程中，常常抱着一种碰运气的心态，总觉得自己动手就没事。

### （二）施工难度大，管理成本高

近几年来，随着社会和经济的快速发展，电力工程的规模不断扩大，这给电力工程的建设带来了更多的困难和挑战。特别是

作者简介：姓名：艾力·马木提（1972.3-），男，维吾尔族，籍贯：新疆维吾尔自治区泽普县，学历：大专，从事的研究方向或工作领域：电力工程施工。



在边远地区，因地理环境复杂，施工难度大，施工费用高。而施工难度大，将对整个项目造成很大的影响。

除此之外，由于电力工程的建设对建筑设备和专业人才的需求很大，在实际的电力工程施工中，将会有很大的投资。然而，在实际的电力工程建设过程中，受市场因素和经济因素的制约，企业不可能拿出充足的资金来支撑电力工程建设，这就造成了在实际实施过程中，难以招募到充足的施工人员。而许多企业，则不会不惜一切代价，也要确保自己的利润最大化。然而，在实际的电力工程施工中，若不能有效地控制自身的造价，往往会造成项目的总造价与预期的相差甚远。所以，在实施电力工程建设的过程中，要注重对其管理工作的执行，并采取行之有效的措施，减少其经营成本。

### （三）施工人员专业素质有待提高

实际的建设中，施工人员往往存在着不同的职业素养，这就给项目的管理带来了一定的困难。建筑工人的专业素养主要是指建筑工人的专业知识和相应的工艺作业能力等。其中，因为电力工程发展的时间不长，有关的技术和知识都不健全，这就造成了部分建筑工人在进行电力工程建设的过程中，缺少了一些安全意识，没有对工程施工过程中可能出现的风险进行有效的评价，并没有制订出有效的应急方案。实际电力工程建设和施工过程中，还缺少相应的监管制度和制度，致使一些建筑工人的安全意识不强<sup>[2]</sup>。同时，在电力工程建设中，由于电力工程建设环境恶劣，大量的建筑工人以农民工为主，部分外来务工人员的教育程度较低，对安全生产方面的相关知识还很缺乏。因此，在实际的电力工程建设过程中，极易发生安全事故。

### （四）施工现场监管不到位

电力工程建设中，监理工作的重点是发现和解决存在的安全隐患。然而，由于种种原因，一些建筑工人无法对其进行及时的检测，从而造成了一些安全隐患得不到有效解决，甚至造成了很大的安全隐患。另外，有些建筑公司在监督电力工程施工现场时，常常把重点放在监督电力工程施工人员身上，而不注意监督设备，致使设备老化，引发了安全事故。这一现象在我国部分电力工程施工中经常发生，对其安全生产构成了极大的威胁。

### （五）安全管理制度不完善

目前的电力工程建设中，有关的管理人员进行电力工程建设时，没有制定健全的安全管理体系，而且有关人员也不能根据有关的规定开展安全管理工作。所以，在实际的工程建设中，往往会产生很多的安全隐患，甚至有可能引发建筑工人的安全事故。建设项目中，若没有一套健全的安全管理体系，就不能对项目存在的各种安全隐患进行及时的检测和处理。如果不能对其进行有效的治理，将会给建筑工人带来安全事故。

## 二、电力工程施工中的安全生产管理措施

为了保证电力工程质量和安全，就需要重视对电力工程施工过程中的安全生产管理工作进行严格落实。在实际进行电力工程施工时，相关管理人员必须重视对施工现场进行监管。只有这样

才能确保电力工程建设能够满足人们日益增长的用电需求，从而为我国经济的发展奠定坚实的基础。通过在实际进行电力工程施工时采取有效措施加强对施工人员和设备等方面监管工作来进一步提高整个电力工程建设质量和安全性。通过这样做就可以从根本上杜绝安全事故发生。

### （一）坚持安全生产方针

电力工程建设中，必须贯彻落实“安全第一，预防为主，综合防治”的方针。这一根本政策既是对建设工程安全的保障，也是保障电网安全和公众利益的重要基础。这需要每个管理者对安全生产的认识，并把它看作是公司发展的生命线，要求由上至下全体员工，均应具有较强的责任感，随时把安全生产摆在第一位，严格执行各项作业规范，以保证每一个项目的安全运行<sup>[3]</sup>。

通过综合管理，能够对各种安全事故进行有效的防范，保证建设过程中的每个细节都能满足国家关于安全生产的法律法规的规定，防止不必要的损失和伤害，保障员工的生命和财产的安全，推动公司的长期、健康发展。要达到这种目的，就必须对施工现场的各个环节进行周密的策划和实施。从设备的选择、检验、员工的培训与教育，到制定与实施安全措施，每个环节都不容疏忽，形成一个完善、高效的电网安全管理系统，为电网的安全稳定运行提供可靠的保证。

### （二）建立健全安全管理体系

1.当前的电力施工中，安全生产是第一位的。要做到这一点，就需要建立健全安全生产体系，其中包括但不限于：制订一份完整的建设计划书（包含与安全有关的全部内容，并且要清楚地说明建造过程中存在的安全危险）；建立完善的施工规程，保证每个工序都能按照规定的流程进行；制定相关的责任性契约体系，明确各主体（项目经理、监理工程师、施工人员）的职责与义务，强化责任感。

承包过程中，除了要明确各自的责任范围，而且要在质量、进度、费用控制等各个环节上都有明确的规定，建立一套科学的奖惩制度，以更好地调动职工的工作积极性，这样才能保证项目的顺利完工。这一机制应该是公平、合理的，不仅要对在安全生产方面做出杰出贡献的个人或团体给予一定的奖励，而且要对那些不遵守安全规则或引起安全事故的人员给予相应的惩罚。通过这种激励和约束的方法，能够有效的提升整个电网建设团队的安全意识和能力，创造一个更安全、更高效的工作环境。

2.落实安全生产责任制，是一项非常复杂、非常精细的工作，必须从顶层设计到基层落实，层层落实。每个层次的管理者都要清楚自己的职责和职责，保证安全措施不能只停留在嘴上，要落实到每一个部门、每一个班组、每一个员工的心里。此项责任应涵盖项目建设的各方面，包括但不限于材料采购、施工安排、现场管理等，并将责任落实到工作过程的每个角落，做到无死角的安全保护。唯有如此，才能让管理部门与执行部门之间的无缝连接，建立起一张全方位、纵向到底的安全生产网，为工程的成功实施奠定了基础。

### （三）加强防范措施

1.风险辨识与评估：依据动态辨识、科学评估、分级管理等



原则，对电力建设项目的安全风险实施有效监控和控制，并且对电力工程建设前期的内在风险特征进行深入剖析。在投入使用之前对其进行动态风险辨识与评价，采取有针对性的等效风险管理对策，这样才能保证项目的全面和有效，从而减少安全隐患的发生<sup>[4]</sup>。

2.对于存在高风险的分部分项工程（也就是危大工程），建设单位有义务制订详细、细致的施工计划，以保证整个施工过程的安全。正式启动前，需通过一系列的评审程序，其中包含并不局限于由工程监理方及有关政府部门组成的评审，以确保方案的科学、合理和完整<sup>[5]</sup>。

1.由专项施工方案的编制者或技术负责人，在施工现场进行安全技术交底，即对施工过程中的具体内容，施工程序，潜在危险点，应及时向施工单位和施工单位进行沟通。通过这种方式，保证了员工对方案中提及的各项技术要求及操作规程都有了全面的了解和掌握，减少安全事故的概率，保证工地的安全。

**（四）增强施工人员安全意识**

1.安全教育与训练是不可忽视的

电力工程建设中，必须有系统、有深度地进行安全教育与训练，才能保证电力工程建设的顺利进行<sup>[6]</sup>。通过开展安全警示课、事故案例分析等活动，既增强了员工的安全意识，又提高了员工在工作中的自保能力。作为主要负责人或安全生产经理的，要通过严格的训练和考试，并通过有关部门的评估，取得相应的任职资格。与此相类似，特殊工种工人在上岗前，应取得国家颁发的特殊工种操作证。这套系统的训练与评估体系，是保证建设过程中，安全建设必不可少的环节，也是建设过程中，每个参与人都可以在安全的基础上，实现自己的职业理想<sup>[7]</sup>。

2.建筑工人在进行建筑工作时，应严格遵守公司的有关安全管理规定和工作规范，并保证正确穿戴和使用劳动保护装备。发

现有事故隐患、危险源或其他不安全的作业场所，应立即报告所在单位的安全主管或主要领导。它既是建筑工人应尽的义务，又是保证自己及别人安全的一项重要手段<sup>[8]</sup>。

**（五）制定应急预案与演练**

1.应急预案制定

对电力建设项目的规划编制及应急演练进行深入讨论的基础上，提出了一种科学、有针对性的方法。对于像电力建设这种高风险的产业来说，保证每个突发事件都有一个清晰的反应机制是非常重要的，所以，工地应制订详细的紧急情况计划，包括火灾、危险品、机械设备和人员伤亡等。为保证方案的科学性、针对性、有效性和可操作性，在编制过程中要严格按照行业标准进行<sup>[9]</sup>。

2.应急演练

构建一套完整的突发事件应急处置系统，以提高我国突发事件的处置能力，即建立一个紧急救援的领导团队，这个团队将会协调所有的资源和指导救灾工作，还必须有足够的、先进的应急救援装备。通过定期组织突发事件应急预案的演练，可以对突发事件的处理过程进行持续的检查和改进，以便在突发事件发生时，能够快速有效地应对突发事件。演习不但检验了该计划的效果，而且有助于提高全体员工的应变能力，提高他们的自信，以应对各种突发事件<sup>[10]</sup>。

**三、结语**

电力工程施工安全管理是一项相当繁琐的工作，需要有关人员随时提高警惕、责任心，做好电力工程施工中的安全管理工作。在此基础上，结合实际情况，提出了相应的对策，以防止发生安全事故。唯有如此，才能确保电力项目的顺利实施。

**参考文献**

[1] 杨凯, 吕凤. 基于改进的 LEC 对水利工程安全风险评价研究 [J]. 四川水利, 2023, 44(1): (146-148, 152).

[2] 傅小球. 土木工程项目安全生产管理策略——评《建设工程安全生产管理监理工作实务》[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(08): 2974-2974.

[3] 张靖萱. 电力工程施工中的安全生产运行管理 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2019, (12): 00123-00123+125.

[4] 许朝伟. 电力工程施工中的安全生产管理 [J]. 中国电力企业管理, 2015, 0(4X): 44-45.

[5] 利锐欢; 谢玉祺. 基于大数据的安全生产人工智能应用分析 [J]. 科技资讯, 2022(14): 76-78.

[6] 何洪洋, 马松国, 张滨, 等. 基于人工智能的电力基建反违章安全管控方法研究 [J]. 电气应用, 2023, 42(11): 50-55.

[7] 缪莉娜. 基于全生命周期的电力项目投标风险评价研究 [D]. 南京邮电大学, 2023.DOI: 10.27251/d.cnki.gnjdc.2023.001532.

[8] 李健宁. 嵌入式电力施工现场异常行为识别监控系统关键技术研究 [D]. 太原理工大学, 2023.DOI: 10.27352/d.cnki.gylgu.2023.002504.

[9] 刘畅. 某国有电力公司建设项目安全管理研究 [D]. 长春工业大学, 2023.DOI: 10.27805/d.cnki.gccgy.2023.000503.

[10] 钟甜. 基于 MCS-AHP 模型的供配电工程施工进度风险评价研究 [D]. 江西科技师范大学, 2023.DOI: 10.27751/d.cnki.gjxkj.2023.000315.

# 核电厂人身安全事故应急预案与演练实施

郑斌, 李进, 胡灿, 张森

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 根据相关核安全法规及导则要求, 核电厂需要制定相应的应急预案, 并进行必要的演练, 以确保事故时能够及时有效地处理突发状况, 降低对员工造成伤害的风险。基于此, 本文从应急响应计划、应急组织架构、应急程序等方面详细阐述了核电厂人身安全事故应急预案的内容, 期望能为降低核电厂事故发生可能做出贡献。

**关 键 词 :** 核电厂; 人身安全; 应急预案; 演练实施

## Implementation of Emergency Plan and Drill for Personal Safety Accidents in Nuclear Power Plants

Zheng Bin, Li Jin, Hu Can, Zhang Sen

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** According to the relevant nuclear safety regulations and guidelines, nuclear power plants need to formulate corresponding emergency plans and conduct necessary drills to ensure that emergencies can be handled in a timely and effective manner and reduce the risk of injury to employees. Based on this, this paper expounds the contents of the emergency plan for personal safety accidents of nuclear power plant from the aspects of emergency response plan, emergency organization structure and emergency procedures, etc., which is expected to make a possible contribution to reducing the occurrence of nuclear power plant accidents.

**Keywords :** nuclear power plant; personal safety; emergency plan; drill implementation

### 引言

人身安全事故可导致人员遭受直接伤害、间接伤害或死亡。从行业角度来看, 由工作原因导致的事故占95%以上。对于核电厂来说, 在生产运行过程中, 由于众多危险源的存在, 包括经常会发生一些机械故障, 这些因素很可能会引起人员受伤甚至死亡, 所以有必要制定一套完善的人身安全事故应急预案, 以便及时采取措施处理事故。为了减少事故发生后对员工产生伤害的风险, 通常需要进行应急演练, 以便让员工了解事故的应急流程, 提高应对能力。

### 一、核电厂人身安全事故危险源

#### (一) 辐射伤害

核电厂内工作人员受到电离辐射, 可能对人体造成伤害。一般情况下, 机组运行时会向环境中释放大量的高能射线。为了保证安全, 对辐射剂量进行严格控制, 如控制棒驱动机构的操作和停堆期间人员的离开, 都必须穿戴相应的屏蔽服、防护服等个人防护装备, 且不能携带手机等电子产品。当工作人员接触到放射性物质或处于放射性场所时, 还应采取有效的屏蔽措施, 以减少辐射暴露量。但在实际工作过程中, 由于作业条件恶劣, 受技术能力、工作经验、组织管理等因素的影响, 极易发生误操作行为, 进而导致辐射伤害事故的发生。而当核电站发生核泄漏事故后, 如果处置不当, 很有可能出现核扩散问题, 甚至引发恐怖袭击事件。因此, 加强对核电厂工作人员的核安全培训是十分必要

的。除了要增强工作人员的核安全意识外, 还要熟悉相关的法律法规以及应急预案, 以便更好地应对突发事件<sup>[1]</sup>。

#### (二) 高处坠落、落物打击

高处坠落是指在高处作业时, 发生坠落事故的可能性。落物打击是指从高处坠落的物体或人体对工作人员造成伤害的可能性。核电厂运行现场的一些设备设施的安装位置较高、空间较狭小, 加之可能存在一定的危险性, 如果操作失误或者其他原因导致这些设备设施发生坠落事故, 就会给工作人员带来生命威胁和财产损失。此外, 因检修需要, 人员进入厂房内作业, 也可能被掉落物品击伤。因此, 为确保人身和财产安全, 必须将这一危险源控制到最小程度<sup>[2]</sup>。

#### (三) 机械伤害

核电厂的机械设备种类繁多, 用途也很广, 有机械输送和动力装置等。因其特定的作业条件及工作性质, 对其使用性能提出了更

作者简介: 郑斌(1990.9-), 男, 汉族, 四川绵阳, 大学本科, 助理工程师, 核电厂大修安全管理

高的要求。而对操作人员来说，若无相应的专业知识和资格证书，在进行机器作业时，会导致无法对所使用的设备的性能和状况做出准确的判断，或不熟悉操作规程，就会加大事故的发生。另外，当机械设备出现故障时，如果检修人员缺乏相应的技能和经验，也会导致事故发生。此外，当机械设备运转速度过快或者突然停机时，若操作人员无法及时采取措施，也可能会引发人身伤害<sup>[3]</sup>。

#### （四）窒息

窒息，通常源于吸入了惰性气体（氮、氩、二氧化碳等）或在密闭场所工作。在核电检修过程中，核电厂员工不得不与各类可能导致窒息的介质打交道，这增加了他们遭受窒息事故的风险。如果工作人员没有采取适当的个人防护措施，比如佩戴合适的防护服和使用过滤面罩，就有可能使得有害物质直接通过呼吸进入肺部，引起急性缺氧症状，甚至导致死亡。此外，运行过程中的核电站设备、管道和电缆等部件也可能发生泄漏现象，释放出具有潜在毒性的化学物质，同样可以通过呼吸道被人体吸收<sup>[4]</sup>。这种情况下，不仅是直接暴露于放射性辐射的风险，还有可能是由泄漏物质引起的二次污染，进一步加剧了窒息的危险程度。为了有效预防这类事故，核电厂必须制定严格的安全生产管理制度和操作规程，确保所有员工都接受到全面的防窒息知识培训，才能最大限度地避免悲剧的发生。

#### （五）中毒

中毒，是由于接触到各类有毒有害介质包括各类有毒放射性介质所致。在核电厂内发生的放射性物质事故中，以放射性核素的裂变产物—— $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线和中子为主要射线形式，具有较高的能量，对人体造成严重危害，应特别注意。此外，在核电厂外发生的放射性污染事故也可导致人员中毒。如2013年日本福岛核电站泄露事故中，就有大量放射性碘和铯流入附近海域，导致当地居民出现甲状腺肿痛等症状。因此，核电站员工必须熟知放射性物质对人体健康的影响以及防护措施。

#### （六）火灾、爆炸

核电站的安全运行是一个至关重要的议题，因为它涉及到放射性元素和反应堆的核心运作。在这些高风险环境中，潜在的火灾和爆炸事故有几种可能的原因：首先，当反应堆冷却剂系统中的管道或设备出现损坏，如密封件失效或连接松动，就可能导致冷却剂泄漏，从而引发火灾。其次，蒸汽发生器——这是核电站内用于产生蒸汽的关键设备——如果发生故障，也会引起放射性物质的释放，这样的事故同样可能造成火灾和爆炸。此外，在处理放射性材料的过程中，任何不慎的操作都可能意外地引发火灾或爆炸，因为这些材料可能会与其他化学物质发生反应，从而点燃周围的气体或液体介质。因此，确保核电站的所有组件得到适当维护和监测，以及对工作人员进行严格的培训和监督，对于预防此类事故的发生至关重要。

## 二、导致人身安全事故发生的原因

#### （一）人员违章操作

在现代工业和商业活动中，员工的安全意识直接关系到生产

流程的顺畅与否。然而，由于缺乏对工作环境的深入了解、相关知识与技能的不足，以及可能受到工作压力、外部诱惑或是其他外部因素的影响，他们往往容易偏离正确操作规程。具体来说，当涉及到机械设备或设施的维护时，如果员工没有按照既定的安全标准穿戴适当的个人防护装备，比如防护眼镜、防护服或者是防滑鞋等，那么他们就很容易因为意外伤害而发生安全事故。同样地，在操作各种自动化设备时，如果未能熟练掌握其使用方法，或者在面对突发状况时未能迅速做出正确判断并采取相应措施，都有可能造成操作失误，从而引发不可预料的后果。这些事故一旦发生，不仅会给员工本人带来巨大的身体伤害，还可能对企业造成严重经济损失，甚至影响整个行业的稳定运行。因此，确保每位员工都能严格遵守操作规范，是保障作业安全、预防事故发生的关键所在<sup>[5]</sup>。

#### （二）人员技能不足

在核电站的日常运作过程中，技术工作人员的专业性与经验水平是确保核安全的关键因素。若这些人员由于缺乏必要的专业知识或经验而无法有效应对复杂情况，可能会带来严重后果。他们可能因操作失误、判断错误或是对突发状况的应急措施准备不足而导致安全事故的发生。这种情况不仅威胁到在场工作人员的生命安全和健康，也可能对公众乃至整个社会造成不可估量的影响。因此，强化技术人员的培训和实践，提升其应对各种突发事件的能力，成为了确保核电安全运行的重要任务。此外，在操作过程中，由于对设备不熟悉，没有正确地使用设备或工具，也容易导致人身安全事故的发生。因此，要加强对核电员工的培训，提高他们的操作技能和应急处置能力，以避免事故的发生。

#### （三）设备设施存在安全隐患

核电厂人身安全事故应急预案与演练实施是确保核电厂安全运行的重要环节。在核电厂的日常运营中，必须高度重视人身安全事故的预防与应对。导致人身安全事故发生的原因多种多样，其中设备设施存在安全隐患是重要原因之一。设备设施的安全隐患可能源于设计缺陷、制造质量问题、长期使用磨损、维护不当等多种因素。这些隐患如果不及时发现和消除，就可能在核电厂的运行过程中引发人身安全事故。因此，核电厂必须建立完善的设备设施安全隐患排查机制，定期对设备设施进行检查、维护和保养，确保其处于良好的运行状态。

## 三、应急预案制定与实施

#### （一）应急预案编制原则

1 合法性。应急预案是国家相关法律、法规和规章的具体体现，同时也是在法定职责范围内必须履行的义务；

2 科学性。应急预案应对事故的发展趋势作出合理预测，并对应急响应措施进行科学评估；

3 有效性。应急预案应具有针对性，能切实指导事故发生时的应急工作，能够有效地解决现场实际问题；

4 完整性。应急预案应从整体上反映企业内部应急管理体系的运作过程，预案各部分之间相互衔接、协调一致；

5可操作性。应急预案应具有明确的操作程序和技术要求,便于各级人员理解、掌握和实施<sup>[6]</sup>。

（二）应急预案内容要素

核电厂的人身安全事故应急预案是保障员工安全与生产稳定的关键。该预案涵盖了全面而细致的内容,从总体框架到具体执行措施均有详细规定。首先,它明确了预案的指导原则和基本要求,为整个体系提供了坚实的基础。接着,组织机构与职责部分确立了紧急事件应对过程中各级人员的责任分工,确保了信息传递和决策过程的顺畅。事件分类与分级系统将各种潜在的风险进行科学分类,并根据其严重程度划分级别,这有助于决策者迅速做出判断并制定相应的应急响应策略。应急响应程序则详细描述了在不同类型的安全事故发生时,应当遵循的步骤、操作流程和注意事项,使各部门能够有条不紊地协作应对突发情况。应急资源和支持保障部分强调了在紧急情况下所需资源的可用性和可靠性,以及外部支持力量的协调和援助机制。这包括必要的医疗救治、法律援助、心理疏导等服务,以最大限度地减轻事故带来的影响<sup>[7]</sup>。

（三）应急预案演练与评估

应急预案的演练和评估是及时发现应急响应能力不足,完善应急预案内容的重要手段。在进行预案演练时要根据预案中所涉及的事故等级,从事件发生、信息报告、指挥协调、资源准备、应急处置等方面开展全面系统的演练,并对演练情况进行总结评估,提出改进意见,从而进一步提高员工的应急反应能力。通常核电厂的应急预案演练周期为半年一次,或者每年进行1-2次,同时可根据实际情况组织多次专项演练<sup>[8]</sup>。

（四）泳道图法的现场应急处置方案在核电厂的应用

针对核电厂生产系统复杂,应急响应涉及多个部门和人员的特点,研究并制定了一套泳道图法的现场应急处置卡方案,用于核电检修现场。现场作业人员在遇到人身伤害紧急情况时,根据该应急处置卡上的指引进行一系列正确有效的应急措施,以尽可能避免或降低人员受到的伤害。当然,这需要现场工作人员提前熟悉应急处置卡上的内容并根据实际工作环境做好完善、工作开始前做好演练,以及提前准备好必要的应急物资<sup>[9]</sup>。

该应急处置卡方案主要包括四个方面:首先是对核电厂现场危险源和伤害类型进行识别和描述;其次是现场报警电话和接警地点等重要关键提示信息;第三是必要的应急物资清单;最后是处置条件判断和处置行动,根据现场环境,制定相应的现场处置顺序。该方案通过泳道图直观地反映了整个应急处置过程的逻辑关系和相互衔接,有助于提高应急预案的可读性、可操作性和有效性<sup>[10]</sup>。

四、结语

核电厂作为能源供应的重要设施,其安全运行至关重要。核电厂人身安全事故应急预案与演练的实施,不仅是对员工生命安全的负责,也是对周边环境和公众安全的承诺。通过不断完善应急预案,加强应急演练,我们能够有效提升核电厂应对突发事件的能力,确保在紧急情况下能够迅速、有序、高效地进行处置,最大程度地减少事故损失和影响。未来,我们将继续致力于提升核电厂的安全管理水平,为社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

[1] 李小飞,王海山,张学东,等. 辐射事故应急演练评价模型构建 [J/OL]. 核电子学与探测技术, 2024, (05): 1-6.  
[2] 陈荣. 我国核事故应急演练工作研究和建议 [J]. 辐射防护, 2018, 38(03): 240-245.  
[3] 祝贺, 刘彬, 金莉, 等. 核电厂核事故应急演练新模式的实践 [J]. 辐射防护, 2020, 40(02): 162-167.  
[4] 陶瑜, 王铁疆, 孙美兰. 我国核事故应急能力评价研究综述 [J]. 职业卫生与应急救援, 2017, 35(02): 179-183.  
[5] 黎岢, 梁漫春, 岳峰, 等. 国家辐射应急监测调度平台软件方案设计 [J]. 辐射防护, 2019, 39(06): 487-496.  
[6] 杨秉余, 朱峰. 浅析核电厂前期阶段的核安全文化建设 [J]. 科技视界, 2017, (02): 248.  
[7] 黄渊杰. 基于 RAVEN 的核电厂事故安全特性分析方法研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2020.  
[8] 张明, 葛云征, 张守杰, 等. 核电厂严重事故后乏池自安全冷却技术研究 [J]. 核动力工程, 2022, 43(05): 181-187.  
[9] 李菲菲, 刘晓强, 孟凡江. 模拟事故工况下非能动核电厂安全相关涂层的可靠性测试及评估方法研究 [J]. 涂料工业, 2024, 54(01): 54-58.  
[10] 周舟, 周勇, 张伟, 等. 福岛核事故后滨海核电厂安全专设系统发展的分析和研究 [J]. 核科学与工程, 2021, 41(04): 798-802.