

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 · Issue 7 · December 2024 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)

# 科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 Issue 7 December 2024 ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
Tel.:+65 62233839  
E-mail:contact@nassg.org  
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：科技创新与工程

ISSN: 3060-8996 (纸质) 3060-8988 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering

ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《科技创新与工程》征稿函

### Database Inclusion



Google Scholar

### 版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: http://www.nassg.org



### 期刊概况：

中文刊名：科技创新与工程

ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

### 出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

### 出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 科技创新与工程

## Technological Innovation and Engineering

Volume 1 Issue 7 December 2024  
ISSN 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

主 编

康继军

Jijun Kang

编 委

刘 敏 Min Liu

龚勤林 Qinlin Gong

陈 升 Sheng Chen

包 艳 Yan Bao

1	电力系统及其自动化中变压器故障诊断研究 / 李金星	1	Research on the fault diagnosis of transformer in electric power system and its automation / Jinxing Li
4	港口航道工程沉箱施工技术的应用对策 / 孟小庆	4	Application countermeasures of caisson construction technology in port waterway engineering / Xiaoqing Meng
7	浅谈供配电设备状态监测与故障诊断 / 刘士伟	7	Discussion on state monitoring and fault diagnosis of power supply and distribution equipment / Shiwei Liu
10	食品添加剂检测的质量控制难点与突破路径 / 石美莲 石雪芬 林伟进	10	Difficulties and breakthrough path of quality control of food additive testing / Meilian Shi Xuefen Shi Weijun Lin
13	食品检验检测的质量控制及细节问题探究 / 石雪芬 石美莲 林伟进	13	Quality control and details of food inspection and testing / Xuefen Shi Meilian Shi Weijun Lin
16	关于航天企业发展新质生产力的对策探究 / 田恕 王海涛 宋健	16	Exploration of Countermeasures for the Development of New Quality Productivity in Aerospace Enterprises / Shu Tian Haitao Wang Jian Song
19	无功补偿技术在高低压供电系统中的应用 / 梁恒溢	19	Application of reactive power compensation technology in high and low voltage power supply system / Hengyi Liang
22	污水处理厂设备安全运用策略与实践研究 / 赵启银	22	Research on safe operation strategy and practice of sewage treatment plant equipment / Qiyin Zhao
25	储能电池 PACK 线智能化的关键技术 / 付文辉	25	Key technologies for intelligent energy storage battery PACK line / Wenhui Fu
28	近红外光谱技术在食品品质检测中的发展 / 张斌	28	The Development of Near-infrared Spectroscopy Technology in Food Quality Inspection / Bin Zhang
31	基于变频器防晃电技术的分析与应对策略 / 岳伟伟	31	Analysis and countermeasures of frequency converter anti-shake power technology / Weiwei Yue
34	智能化技术在电气工程自动化控制中的应用分析 / 张悦	34	Analysis on the application of intelligent technology in electrical engineering automation control / Yue Zhang
37	气相色谱-串联质谱法测定不同生长环境下艾叶挥发性成分 / 王小永 马丽 赵丽娜	37	Determination of the volatile components from Chengde of Artemisia argyi Folium by gas chromatography-mass spectrometry / Xiaoyong Wang Li Ma Lina Zhao
40	一种基于电阻位置传感器的电动充电口盖控制方法 / 周武 黄越 刘关林 李慧晶	40	A control method of electric charging port cover based on a resistance position sensor / Wu Zhou Yue Huang Guanlin Liu Huijing Li

# Research on the fault diagnosis of transformer in electric power system and its automation

Jinxing Li

State Energy Technology (Zhengzhou) Group Co., Ltd., Kaifeng, Henan, 475000, China

## Abstract

As the core equipment of the power network, the transformer undertakes the key functions of voltage conversion and electric energy distribution, and its health state directly affects the overall reliability of the power grid. In recent years, the scale expansion of new energy grid connection and the load characteristics are complicated, and the electromagnetic stress and thermal stress borne by transformers have been significantly enhanced, leading to the continuous accumulation of potential fault risks such as winding deformation and insulation aging. The traditional periodic maintenance mode is difficult to meet the real-time monitoring requirements of smart grid; the fusion application of intelligent sensing technology and big data analysis provides a new technical path for transformer status evaluation. Equipment fault diagnosis is gradually shifting from relying on manual experience to the intelligent decision-making mode of multi-source information fusion. This transformation is an inevitable choice for the upgrading of the security protection capability of the power system.

## Keywords

power system; automation; transformer fault; diagnosis and research

# 电力系统及其自动化中变压器故障诊断研究

李金星

国能科技(郑州)集团有限公司, 中国·河南开封 475000

## 摘要

变压器作为电力网络的核心设备,承担着电压转换与电能分配的关键职能,其健康状态直接影响电网整体可靠性。近年来,新能源并网规模扩大与负荷特性复杂化,变压器承受的电磁应力与热应力显著增强,导致绕组变形、绝缘老化等潜在故障风险持续累积。传统定期检修模式存在滞后性缺陷,难以适应智能电网实时监测需求;而智能传感技术与大数据分析的融合应用,为变压器状态评估提供了新的技术路径。设备故障诊断正从依赖人工经验判断,逐步转向多源信息融合的智能决策模式,这种转变是电力系统安全防护能力升级的必然选择。

## 关键词

电力系统; 自动化; 变压器故障; 诊断研究

## 1 引言

电力设备智能化运维体系的构建,推动着变压器故障诊断技术向精准化方向演进。现有研究聚焦于故障特征提取与诊断模型优化,但在实际工程应用中仍面临多维数据整合困难、故障类型交叉干扰等技术瓶颈。当前诊断体系需要兼顾传统电气试验方法的稳定性与新兴智能算法的适应性,这种双重需求促使研究人员探索更符合现场工况的复合诊断策略。本文着重分析绕组过热、铁芯多点接地等典型故障的形成机理,系统梳理油色谱特征气体判据与局部放电图谱的内在关联。文章尝试建立电气参数异常与机械结构劣化之间的映射关系,旨在形成覆盖变压器全生命周期的状态评估框架。

【作者简介】李金星(1989-),女,中国河南濮阳人,本科,工程师,从事电力系统及其自动化研究。

## 2 电力系统及其自动化中变压器故障类型

### 2.1 绕组故障

铜导线长期承受短路电流冲击时,相邻匝间绝缘纸在高温下逐渐碳化,局部放电产生的活性粒子加速纤维素分子链断裂(如图1所示)。轴向预紧力不足的绕组遭遇突发短路时,线饼间垫块可能发生位移,导致饼间电容分布异常引发局部过热。纠结式绕组端部漏磁集中区域,循环涡流效应使导线股间产生电位差,绝缘漆膜受损后形成环流腐蚀通道。绝缘油中溶解的酸性物质渗透至绝缘层,与微量水分协同作用引发层间介质损耗角正切值异常升高。绕制工艺缺陷导致的导线表面毛刺在电场集中点诱发爬电现象,持续放电产生的金属颗粒污染油质形成恶性循环。轴向幅向联合压紧结构出现松动时,绕组固有振动频率与铁芯磁致伸缩频率接近可能引发机械共振,加速绝缘紧固件疲劳断裂。绕组温度

梯度分布异常时,热膨胀系数差异造成导线应力集中,晶格滑移形成的微观裂纹逐步扩展为贯穿性缺陷<sup>[1]</sup>。



图1 变压器绕组故障示例图

## 2.2 铁芯故障

铁芯故障的演化过程与磁路异常密切相关,硅钢片叠压工艺缺陷导致接缝处形成闭合涡流通路,交变磁场作用下产生环流过热。绝缘漆膜老化破损的叠片在油浸环境中逐步氧化,边缘毛刺在电场集中区域诱发局部放电,碳化产物沉积形成新的导电通道。铁芯接地铜片安装应力过大可能造成多点接地故障,不平衡电流在接地回路产生附加温升,加速绝缘垫块热分解。磁滞损耗异常增大时,铁芯内部磁畴翻转受阻产生机械应力,硅钢片间摩擦振动引发可听噪声频率变化。制造过程中残留的金属碎屑在油流带动下迁移至铁轭夹件间隙,交变磁通作用下反复切割磁力线形成微放电。温度梯度造成的热膨胀差异使铁芯夹紧螺栓预紧力下降,电磁振动幅值增大导致夹件绝缘垫移位。油中溶解的腐蚀性气体渗透至铁芯表面,与硅钢片氧化层发生化学反应,磁导率局部下降引发漏磁分布畸变。铁芯柱与旁轭连接部位存在气隙时,主磁通路径改变导致附加损耗激增,红外热像图显示异常温升区域呈蝴蝶状分布。长期过励磁运行状态下,铁芯饱和深度增加使得谐波磁通比例上升,加速绝缘材料的介质老化进程<sup>[2]</sup>。

## 2.3 绝缘故障

油浸式变压器的密封结构存在微小缺陷时,空气中的水分子会逐渐渗透至绝缘油层,导致油纸复合绝缘介质的含水量突破临界值。环境温度长期偏高状态下,绕组表面形成的凝露现象显著提升绝缘纸板的导电特性。设计阶段的电场仿真计算偏差可能使绝缘件承受超出预期的电气应力,加速固体绝缘材料的老化进程。制造环节遗留的绝缘纸褶皱或层间错位缺陷,成为局部放电活动优先发展的薄弱区域。温度循环引起的热机械应力在固体绝缘内部产生微裂纹,这些裂纹通道为放电产物的积累提供空间。运维人员未能及时更换失效的硅胶呼吸器,外界粉尘颗粒伴随呼吸作用进入油箱本体。绝缘套管表面沉积的污秽物在潮湿环境下形成连续导电膜,显著降低沿面闪络电压阈值。在线监测装置若未能准确捕捉介质损耗因子的渐变趋势,绝缘性能的渐进衰退容易被

常规检测忽略。多种致因的交互作用最终导致绝缘系统失去必要的介电强度,引发匝间短路或主绝缘击穿事故。

## 2.4 冷却系统故障

油泵轴承磨损会降低绝缘油的循环效率,散热器翅片表面积聚的尘埃层阻碍热量向空气的有效传递。潜油泵叶轮气蚀形成的空泡现象,使得油路内部产生异常涡流并伴随振动加剧。控制回路中继电器的触点氧化可能导致冷却装置启停指令的误动作,风冷系统变频器参数漂移会打破预设的温控曲线。散热器与本体连接部位的密封圈老化,使得外部潮气通过微小缝隙侵入油循环管路。设计阶段若未充分考虑极端环境温度的影响,高温时段散热余量不足容易引发油温超限报警。运维人员未能及时清理冷却器进风口的飞絮杂物,空气流通截面积的持续缩减导致热交换效率阶梯式下降。监测系统对油流传感器信号的解析偏差,可能将冷却油路半堵塞状态误判为正常工况。温度探头安装位置的选取不当,使得局部过热点的真实温度未能准确反映在监控界面。看似简单的冷却风扇润滑脂干涸问题,长期累积可能演变为转子卡滞的机械故障。

## 3 电力系统及其自动化中变压器故障诊断技术

### 3.1 油色谱分析技术

运维人员定期采集变压器油样时,注射器内残留的空气可能影响溶解气体浓度的检测精度。载气流量参数的设置需要匹配色谱柱的规格型号,柱箱温度的微小波动会改变乙烷与乙烯的流出顺序。热导检测器的桥路电压稳定性直接关系到氢气浓度的测量误差范围,火焰离子化检测器收集极的积碳问题可能导致碳氢化合物响应值漂移。样本预处理环节的振荡脱气时间不足,部分溶解气体未能充分释放至集气装置。色谱工作站对重叠峰的解析算法直接影响二氧化碳与一氧化碳的定量准确性,基线噪声的异常抬升可能掩盖微量乙炔的检出。诊断模型需要整合三比值法与大卫三角形法的优势,不同编码组合对应着放电性故障与过热性故障的差异化特征。特征气体产气速率的计算需考虑变压器负载率的动态变化,避免将正常工况下的短时过载误判为潜伏性缺陷。

### 3.2 局部放电检测技术

特高频传感器的检测频段通常选择300MHz至3GHz范围,这个区间能够有效避开变电站常规干扰源的频谱分布。脉冲电流法的分辨率需要达到pC级别,电流互感器的频响特性在2MHz带宽内需保持平坦响应。运维人员容易忽略的是,前置放大器的输入阻抗匹配程度直接影响微弱放电信号的保真度,50Ω阻抗失配可能造成信号反射损耗。超高频检测装置的本底噪声控制在-80dBm以下时,才能可靠识别油纸绝缘中0.5mm级别的气隙放电。高速采集卡的采样率需满足1GS/s以上条件,才能完整记录纳秒级放电脉冲的波形细节。相位分辨模式需要同步工频电压信号,电压相位的采样精度应优于0.1°。模式识别算法需要处理PRPD谱图中的散点聚类特征,卷积神经网络对三维谱图的识别准

准确率比传统统计方法提升约 15%。现场环境中，无线通信基站的 2.4GHz 频段辐射可能淹没真实放电信号，这时需要启用带阻滤波器抑制特定频点。暂态地电压检测法的探头灵敏度设置为 60dB $\mu$ V 时，能够有效检测开关柜绝缘子表面的沿面放电。分布式光纤传感系统需要控制 FBG 栅区的温度灵敏度系数在 10pm/ $^{\circ}$ C 以内，避免环境温漂掩盖真实的应变信号。时频联合分析时，小波变换的分解层数选择影响放电脉冲的时域定位精度，通常选用 db4 小波进行 6 层分解。多源信息融合诊断时，特高频信号与超声波信号的时差定位误差需控制在 2ns 以内，对应的空间分辨率约为 0.6 米。

### 3.3 电气试验技术

直流电阻测试仪需要补偿环境温度对铜导体电阻率的影响，测试电流的稳定度应优于 0.5% 才能发现分接开关触头的微欧级接触电阻异常。绝缘电阻测试时，吸收比与极化指数的计算需消除环境湿度对表面泄漏电流的干扰，60 秒与 600 秒的定时测量误差需控制在  $\pm 3$  秒范围内。介质损耗角测试仪施加 10kV 工频电压时，油纸复合绝缘的  $\tan\delta$  值超过 0.5% 可能暗示局部受潮或老化加速。感应耐压试验中，200Hz 倍频电源的输出谐波含量需低于基波的 2%，避免高频分量引发铁芯磁饱和造成的试验数据失真。绕组变形测试仪依靠频响曲线的相关系数分析结构位移，1kHz 至 2MHz 范围内幅值差异超过 3dB 可能预示轴向或辐向的机械形变。有载分接开关的过渡波形录波装置需要捕捉 10ms 时间窗内的动态电阻变化，时间分辨率达到 0.1ms 级别才能识别触头弹跳现象。铁芯接地电流监测需要考虑夹件绝缘电阻的分布参数影响，10mA 的持续电流阈值设置需结合油中含水量指标综合判断。电容型套管末屏引线的接触电阻测量需采用四线制微欧表，测试导线长度超过 10 米时需修正线路电阻引起的系统误差。温升试验过程中，顶层油温与热点温度的换算模型需考虑散热器投运组数的动态调整，光纤测温系统的空间分辨率需达到 5cm 级别。

### 3.4 智能诊断技术

数据预处理环节需要解决油色谱数据与电气试验结果

的采样周期差异，时间序列对齐算法采用三次样条插量法补偿不同步采集带来的相位偏移。随机森林算法处理绕组变形频响曲线时，特征提取模块需要消除检测仪器型号差异导致的频点幅值系统偏差。长短期记忆网络对局部放电脉冲序列的处理能力，受限于放电事件间隔时间的统计分布特性，时间窗口长度通常设置为工频周期的整数倍。迁移学习技术能够缓解不同变电站设备数据分布差异带来的模型泛化问题，特征解耦模块需要分离设备固有特性与故障特征的相关性。知识图谱的实体关系定义需涵盖历史检修记录与家族缺陷信息，图谱推理引擎的响应延迟需控制在 200ms 以内以满足实时诊断需求。边缘计算节点的部署需要考虑暂态录波数据的压缩传输，小波包分解的层次选择影响特征信息的保留率。强化学习策略在诊断策略优化中的应用，需要平衡探索性随机动作与设备安全运行约束之间的冲突。对抗生成网络产生的合成数据，需通过油中溶解气体生成规律校验模块剔除物理规律矛盾的伪样本<sup>[9]</sup>。

## 4 结语

变压器故障诊断技术的持续进步，为电力系统安全经济运行提供了有力支撑。研究证实，融合电气特征量与化学监测数据的综合诊断方法，可有效提升潜伏性故障识别率。建议运维单位建立设备状态数据的动态评价体系，将智能诊断结果与传统预防性试验有机结合。未来技术发展应重点关注多物理场耦合模型的构建，通过电磁-热-机械应力的协同分析提升故障预判能力。诊断知识库的持续完善与自学习机制的结合，有望形成具有进化能力的智能诊断生态系统。

### 参考文献

- [1] 张友. 电力系统及其自动化中变压器故障诊断研究 [J]. 模具制造, 2023, 23 (10): 166-168.
- [2] 谏牧晨. 浅析电力系统自动化中物理知识的应用 [J]. 中学物理教学参考, 2018, 47 (14): 75-76.
- [3] 陈敬技. 电力系统智能变电站综合自动化实验教程[M]. 南京东南大学出版社: 201803. 206.

# Application countermeasures of caisson construction technology in port waterway engineering

Xiaoqing Meng

China Shipping Engineering Construction Administration Co., Ltd., Beijing, 100070, China

## Abstract

Caisson construction is a key underwater structure construction technology in port waterway engineering, and its construction quality directly affects the safety and durability of the overall operation of the project. In recent years, with the rapid advancement of large-scale and complicated port and waterway projects, caisson construction faces new challenges in technical adaptability, on-site organization and management and construction equipment. Based on the application background and technical characteristics of caisson construction in port and waterway engineering, this paper deeply analyzes the current main construction difficulties and constraints, systematically sorts out typical problem types, and proposes effective technical countermeasures from the dimensions of measurement and control technology improvement, equipment optimization configuration, foundation reinforcement strategy and environmental adaptability. Through the comprehensive analysis of the whole process of caisson construction and countermeasures, the aim is to provide theoretical support and practical path for the construction technology improvement and high-quality development of port waterway engineering.

## Keywords

port waterway engineering; Caisson construction; Technical difficulties; Optimize the path; Countermeasures and suggestions

## 港口航道工程沉箱施工技术的应用对策

孟小庆

中海工程建设总局有限公司, 中国·北京 100070

## 摘要

沉箱施工作为港口航道工程中关键的水下结构建造技术,其施工质量直接影响工程整体运行的安全性与耐久性。近年来,随着大型化、复杂化港口航道项目的快速推进,沉箱施工在技术适应性、现场组织管理及施工装备等方面均面临新挑战。本文围绕沉箱施工在港口航道工程中的应用背景与技术特征,深入分析当前主要施工难点与制约因素,系统梳理典型问题类型,并从测控技术提升、装备优化配置、地基加固策略与环境适应性等维度提出有效的技术对策。通过对沉箱施工全过程的综合分析与对策建议,旨在为港口航道工程的施工技术提升和高质量发展提供理论支撑与实践路径。

## 关键词

港口航道工程;沉箱施工;技术难点;优化路径;对策建议

## 1 引言

港口航道工程是支撑海上交通运输、港口物流枢纽功能运行的核心基础设施,其结构安全与功能完备性在很大程度上依赖于高效可靠的施工技术体系。沉箱作为重要的水下预制结构,在港池护岸、码头基础与航道防护工程中发挥着承重、挡水和稳定基底等多重作用,其施工技术日益受到工程界关注。在实际工程推进过程中,沉箱施工常面临海况变化频繁、水下施工精度要求高、地质条件复杂等技术难题,加之现有施工标准与装备手段滞后于工程需求,亟需通过系统性的技术应用对策加以应对。

【作者简介】孟小庆(1988-),男,中国山东潍坊人,本科,工程师,从事港口与航道施工技术与管理研究。

## 2 港口航道工程中沉箱施工技术概述

### 2.1 沉箱施工的基本原理与适用条件

沉箱施工是通过预制大型中空箱体,在水域中定位下沉并填充以形成结构基础的水工建筑方式。该工艺依靠浮力调控实现沉箱的浮运与精准就位,并结合水下导向装置与压载系统控制沉放过程。沉箱结构需与地基环境相适应,以确保受力均衡和结构稳定,其施工适用于岸坡较陡、水深较深、荷载要求较高的港口航道工程环境。施工区域需具备一定的水域宽度与流速条件,以保障沉箱运输与沉放作业的连续性和安全性,地质条件应满足承载力与沉降控制的要求,从而实现沉箱与基础有效结合并确保使用寿命。

### 2.2 港口航道工程中沉箱的结构类型

港口航道工程中常用沉箱结构包括重力式沉箱、筒式沉箱与分节式沉箱等类型,依据工程功能、地质条件与水深

要求进行选用。重力式沉箱多用于码头与护岸工程，其整体结构体积大、底部设有隔仓以增强稳定性；筒式沉箱适用于管道涵洞与引水构筑，具备施工简便与调整灵活的特点；分节式沉箱适合超大尺寸结构，通过分段预制、拼装沉放以应对施工运输与安装限制。不同类型沉箱在结构受力、安装方式与功能适配上具有差异性，需结合具体水工设计方案进行结构选型与布置优化，以确保施工效率与工程性能的协同提升。

### 2.3 沉箱施工的主要工艺流程及技术要点

沉箱施工一般包括预制制造、运输浮运、现场定位、下沉安装与填充固结等工艺流程，技术环节紧密衔接以确保结构安装精度与工程稳定性。预制阶段需控制混凝土强度与结构尺寸，保证箱体完整性与浮力匹配；运输与浮运环节依赖驳船、牵引设备及导向缆系完成水域内平稳移动；定位施工通过水下测控系统配合导向装置实现三维空间精准就位；下沉过程中采用灌水压载控制沉速，并通过导向框架修正偏差；填充固结则利用砂砾、混凝土等材料填充空腔形成结构闭合，确保沉箱与基础结合紧密、受力均匀，从而形成可靠的水下基础结构。

## 3 港口航道工程沉箱施工的典型应用现状

### 3.1 港口护岸与码头建设中的沉箱应用

沉箱结构广泛应用于大型港口护岸与码头前沿结构的基础构建，具有承载能力强、施工周期短、适应水深范围广的优势。在我国沿海重点港口中，超过70%的深水泊位采用沉箱基础进行结构构筑，以天津港南疆港区为例，其2号泊位沉箱结构总长达396米，单体沉箱长度为18米，高度达13米，总沉放周期控制在90天以内。在上海港洋山深水港一期工程中，沉箱用于护岸结构，采用C30高性能混凝土，保障抗渗性能与长周期服役要求。沉箱施工在保障港口岸线稳定性的同时，具备良好的抗波浪与抗冲刷性能，在承受20千牛/平方米以上岸壁荷载的同时仍能保持结构变形小于5毫米的技术标准，充分体现其工程适配性。

### 3.2 航道疏浚与整治中的沉箱功能

在航道疏浚与整治工程中，沉箱常被用于边坡稳定、岸滩护脚及航道边界构筑，保障航道走向与断面稳定性，防止水流冲刷引发边坡失稳。据调查，长江中下游疏浚整治项目中约38%的航段采用沉箱结构加固边坡，单体沉箱宽度控制在3.5米至5米之间，高度不超过10米，通过梯形布设提高抗冲击能力。以珠江三角洲整治工程为例，施工过程中投放沉箱总量超过280个单体，平均单箱重量达750吨，有效抵御年均水流速超过2.3米/秒的水力冲击。沉箱结构可将局部流速降低30%以上，在泥沙冲淤频繁区域中实现对航道轮廓的长期稳定控制，降低后期维护疏浚频次与强度，提升航道使用效率与工程经济性。

### 3.3 不同区域沉箱施工技术实施差异

沉箱施工在不同区域表现出明显的技术适应差异，主

要体现在地质条件、海况环境与施工组织方面的技术响应方式差别。东南沿海地区因水深较大、风浪频繁，采用大型整体浇筑沉箱结构居多，平均沉箱高度达14米，浮运距离普遍超过3公里，需配置双向牵引系统与复合测控装置保障沉放精度；华北港区因岸线稳定性要求高，常使用分节预制拼装式沉箱以适应较高冰冻荷载影响，单节沉箱拼装误差控制在10毫米以内；西南内河港口则因流速变化大、地基软弱，更多采用轻型填充式沉箱并辅以高压注浆固结，施工周期普遍缩短至45天以内。不同地区沉箱技术路径在结构选型、工艺节点与施工装备上存在20%以上的差异，反映出港口航道工程沉箱施工需因地制宜灵活调整。

## 4 港口航道工程沉箱施工面临的技术问题

### 4.1 水下安装定位控制难度大

沉箱施工过程中水下定位误差控制直接关系到结构拼接精度与承载性能，目前多数项目仍依赖水下人工引导与声呐定位系统进行三维就位，受水流、能见度与水压变化影响显著。在某类水深超过15米、流速大于1.5米/秒的作业环境中，沉箱就位偏差普遍超过50毫米，部分工程甚至出现偏移超100毫米的问题。激光与声呐复合定位虽可将误差控制至20毫米以内，但成本增加超过40%，设备运维复杂度上升2倍以上。部分港口项目在大潮汐区或低能见度水域中，水下沉放过程需多次修正定位，平均调整次数高达4次以上。施工效率因此下降约35%，严重影响沉箱之间的结构密封性与后续填充作业连续性，亟需提升精准测控手段以应对复杂水下定位要求。

### 4.2 地基承载力不足对沉箱稳定性的影响

港口航道区域普遍存在软弱地基，沉箱基础承载力偏低直接导致结构不均匀沉降与失稳风险。在典型淤泥质或粉质粘土地层中，原状地基承载力常不足50千帕，远低于沉箱单位荷载需求的80~120kPa标准。在某南方港口项目中，沉箱施工完成后60天内出现沉降大于80毫米的异常状况，导致结构纵缝开裂与下部回填层失稳，修复费用占比超过总工程造价的12%。地基加固处理虽可提升承载力至100kPa以上，但需使用高压注浆或砂桩处理技术，施工周期延长约25天，成本增长幅度约18%。地基沉降的滞后性与不可预测性增加了沉箱结构监测与维护的难度，对工程后期运行安全构成长期威胁，成为制约施工区域扩展的关键问题。

### 4.3 大型沉箱浮运与下沉精度控制问题

大型沉箱在浮运与下沉阶段面临复杂流体动力影响，精度控制难度随着结构尺度与重量的提升显著上升。在某北方深水码头项目中，单体沉箱长达22米，重量超过1100吨，浮运过程中受侧向波浪与流速干扰，航迹偏移量超过1.2米，需多点拖拽与分段校正。下沉作业中因压载不均或沉速失控，易引发结构倾斜与非同步着底现象，部分项目沉放过程中出现倾角超3度的问题，导致安装对接失败。工程实践表明，当沉箱长宽比大于2.5时，水下姿态控制难度增加70%

以上,常规双泵压载系统无法满足平衡调控需求,需引入多点同步调压装置并配置双向纠偏系统。由于设备调试复杂、控制参数实时响应要求高,实际沉放周期延长约30%,严重影响施工计划与工程节点控制。

## 5 港口航道工程沉箱施工技术的优化措施

### 5.1 高精度测绘与控制系统的集成应用

在沉箱施工中,精准测绘与实时控制系统的集成应用已成为提升结构安装精度与作业效率的关键手段。通过引入多源数据融合的测控系统,结合差分GPS、惯性导航、超短基线水声定位与三维建模技术,可实现施工区域的高分辨率地形扫描与实时动态跟踪。工程实例表明,应用精度优于10毫米的控制系统后,沉箱安装偏差可降低至15毫米以内,较传统声呐定位方案提升约60%。在浮运与沉放过程中,系统可实时反馈沉箱姿态变化,自动修正拖移航向与压载配重,显著减少人工干预频次并提升作业连贯性。作业人员通过可视化平台进行状态监控与数据判读,结合模拟仿真平台进行施工路径优化与沉放方案比选,有效应对复杂水流扰动与非规则地貌结构。在多个深水码头建设项目中,综合测控系统的投入使施工效率提高约35%,工程误差率下降至3%以下,为大型沉箱结构在高精度安装条件下的广泛推广提供了坚实的技术支撑。

### 5.2 施工装备与辅助装置的技术升级

随着沉箱尺寸与重量的不断增大,传统施工装备在承载能力、控制精度与环境适应性方面暴露出较多限制,推动施工装备的系统升级已成为保障工程安全与效率的重要方向。当前主流港口工程已逐步采用双向同步牵引装置、多点压载协调系统及浮运稳定装置,配合高刚度导向框架与可调节支撑平台,实现对沉箱在空间六自由度内的精准控制。多功能浮运平台可实现拖带路径纠偏、速度调节与姿态调平,其推进效率较常规驳船提升40%以上。辅助装置方面,水下遥控机械臂与智能调整浮筒已投入实际工程使用,能够完成导向插销安装、箱体姿态修正与沉底位置微调,降低水下作业人员暴露风险。部分项目引入可回收式沉放底座与液压吸附定位器,实现沉箱就位后的快速脱离与重复使用,降低设备损耗率并节约施工成本约15%。装备升级不仅提升了操作自动化水平,也为沉箱在极端海况及复杂地形中的高效

施工提供了关键支撑。

### 5.3 软基区域沉箱基础处理技术创新

在软弱地基区域进行沉箱施工,基础处理技术直接决定沉箱结构的稳定性与后期变形控制能力。近年来,多种新型地基加固与预处理方法逐步应用于港口航道工程中,包括复合地基技术、高压旋喷注浆法与真空预压联合处理等工艺。复合地基通过CFG桩与砂垫层联合形成高承载力结构体系,地基承载力可从原始30千帕提升至120千帕以上,有效抑制不均匀沉降发展。高压旋喷注浆可在沉箱预定安装区域形成规则加固体,对地基变形模量提升幅度超过3倍,沉箱下沉后90天的沉降量控制在20毫米以内。真空预压联合堆载法在沿海滩涂与淤泥质土中展现出良好效果,可在60天内完成固结,地基强度提高70%以上。软基处理过程中辅以分层回填与滤排系统设计,有效控制孔隙消散与边坡稳定,增强沉箱基础整体性与抗冲刷能力。新型处理方案的推广应用大幅度降低结构维修率并延长使用寿命,为复杂地基条件下的沉箱施工提供可行路径。

## 6 结语

沉箱施工作为港口航道工程中关键的结构构建技术,其在深水码头、航道整治及岸线稳定中发挥着不可替代的作用。面对复杂海况与软弱地基等技术挑战,施工过程中的精度控制与结构稳定性要求不断提高,传统工艺难以满足工程高质量发展的实际需求。通过测控系统、施工装备、基础处理与安全保障等方面的技术优化,沉箱施工效率与工程可靠性得到显著提升。未来应进一步推动标准化作业流程、智能化设备应用与区域适应性技术集成,为港口航道工程建设提供更加稳固的技术支撑与持续发展的施工体系。

### 参考文献

- [1] 舒春龙.港航工程项目中的沉箱预制施工技术要点[J].中国高新科技,2023,(04):125-127.
- [2] 焦珂文.港口航道工程沉箱施工技术[J].珠江水运,2022,(01):55-57.
- [3] 杨磊.港口航道工程建设中的沉箱预制施工技术[J].中国水运(下半月),2019,19(22):154-155.
- [4] 徐河.港口航道工程沉箱施工技术要点分析[J].珠江水运,2017,(02):72-73.

# Discussion on state monitoring and fault diagnosis of power supply and distribution equipment

Shiwei Liu

Bengang Beiyong Iron and Steel (Group) Co., Ltd. Energy Plant, Benxi, Liaoning, 117000, China

## Abstract

State monitoring and fault diagnosis technology of power equipment constitute a solid technical foundation for power system state maintenance. This technology can not only effectively prevent equipment failure, but also carry out precise positioning and early warning before the failure occurs, thus greatly reducing the power failure accidents and losses caused by equipment failure. From the perspective of the whole power supply and distribution system, we deeply discuss and focus on introducing the state detection technology of electrical equipment and the fault diagnosis method of electrical equipment. The state monitoring technology detects the operation parameters of the equipment in time and provides data support for fault diagnosis, with the advanced algorithm and analysis means to accurately determine the fault type, location and cause, so as to provide scientific basis for the subsequent maintenance decision.

## Keywords

power supply and distribution equipment; status monitoring; fault diagnosis

## 浅谈供配电设备状态监测与故障诊断

刘士伟

本钢北营钢铁（集团）股份有限公司能源总厂，中国·辽宁 本溪 117000

## 摘要

电力设备状态监测及故障诊断技术构成了电力系统状态维修的坚实技术基础。这一技术不仅能够有效预防设备故障，还能在故障发生前进行精准定位与预警，从而大大减少了因设备故障导致的停电事故和损失。从整个供配电系统的角度出发，我们深入探讨并着重介绍电气设备的状态检测技术与电气设备故障诊断方法。状态监测技术通过实时监测设备的运行参数，及时发现设备异常，为故障诊断提供数据支持；而故障诊断技术则依据监测数据，运用先进的算法和分析手段，准确判断故障类型、位置及原因，为后续的维修决策提供科学依据。

## 关键词

供配电设备；状态监测；故障诊断

## 1 引言

随着我国电网设施的增加，为了确保电气设备的正常运行，根据状态监测所得到的各测量值及其运算处理结果所提供的信息，采用所掌握的关于设备的知识和经验，进行推理判断，从而提出对设备的维修处理建议是必须的。

## 2 供配电系统简介

在电力工程领域，任何接入电网获取电能的终端装置或生产单元均可界定为电力负荷单元。作为电力网络面向用电终端的能量传输通道，现代电能分配体系由多个层级的基础设施构成完整的能量转换网络。该体系通常包含中央降压站、高压配电装置、电力传输线网、生产单元变电站及终端

用电设备等关键环节。根据负荷容量和供电需求差异，不同规模的用电单位在构建自身配电网时，其结构配置存在显著区别。具体而言，大型工业综合体普遍配置独立设置的降压变电站作为电能转换枢纽，而中小型生产单元通常在厂区内内部设置中压等级的变配电装置。对于电力供应连续性要求极高的特殊工业项目，还会配置自主发电机组作为主电网的备用电源，从而构建双电源保障体系。从电能传输过程分析，供配电网络本质上是通过多级电压转换实现能量定向输送的物理通道。中央降压站负责将电网输入的高压电能转换为适合厂区传输的中压等级，高压配电装置则承担着中压电能分配的核心功能。配电线路作为能量传输载体，其架设方式与敷设路径需要综合考虑电力损耗、环境因素及维护便捷性等多重要素。终端变电站通过二次降压将电能转换为设备可直接使用的低压等级，最终通过配电柜将电力精准分配至各用电单元。值得注意的是，系统的拓扑结构设计需遵循可靠

【作者简介】刘士伟（1974-），男，中国河北丰润人，工程师，从事电气自动化（供配电）研究。

性、经济性、灵活性三大原则，其中可靠性保障要求在设备选型、继电保护、备用电源配置等方面进行系统化设计<sup>[1]</sup>。

不同规模用电单位在系统构建方面呈现出明显的技术特征差异。大型工业企业的供配电网络通常采用放射式与环网结合的混合结构，配置多台主变压器实现 N-1 运行模式，确保关键生产环节的持续供电。中小型用户更多采用简单的树干式配电结构，通过优化负荷分配降低初期建设成本。对于某些涉及国计民生的重点单位，除常规配电设施外，还需配置快速切换的备用电源系统，并在主接线设计上采用双重电源接线方案。现代供配电系统正逐步集成远程监测、故障自诊断、能耗分析等先进功能，但核心架构仍保持电压转换、电能分配、负荷控制的基本职能。系统的技术经济性在规划阶段就需要重点考虑，主要体现在设备容量配置、线路截面选择、功率因数补偿等方面。电气设计人员需根据负荷计算数据确定变压器台数与容量，通过短路电流校验选择适当的分断设备，并依据电压偏差允许值设计无功补偿装置。

### 3 电气设备的选择

#### 3.1 按工作环境及正常工作条件选择电气设备

在电力工程领域，对于设备选型的技术规范，主要涉及三个维度：首先需要依据安装环境的物理特征确定设备等级，包括海拔高程、温湿度范围及电磁干扰水平等关键参数；其次应验证设备在极端工况下的耐受能力，特别是短路电流冲击引发的机械应力与瞬态热效应；最后必须核验装置的遮断容量是否满足电网最大故障电流要求。选型过程中，环境适应性分析是首要环节。设备防护等级需与安装位置的腐蚀性气体浓度、粉尘数、振动频率等参数严格对应，例如化工区域需选用防爆型设备，潮湿环境应配置特殊绝缘处理装置。温升限需考虑设备运行时的散热条件，对于密闭配电室需额外核算通风系统的效能。海拔修正数直接影响设备的绝缘强度设计，高海拔地区必须采用高原型专用设备以补偿空气稀薄带来的绝缘性能衰减。

当系统发生电故障时，设备需要承受瞬态电磁力与热效应的双重考验。动稳定校核主要验证导电冲击电流下的机械型变量是否超出允许范围，需根据设备结构参数计算最大电动力作用下的应力分布。热稳定校核则通过焦耳积法确定短路电流持续时间内的温升曲线，确保导体材料在限定时间内不超过允许温升值。在计算过程中需要考虑系统运行方式变化的最大短路容量，采用概率分析法确定最不利工况参数。开关设置的性能验证具有特殊要求。断路器选型需要精确匹配系统的预期开断点，这涉及对瞬态恢复电压峰值、分量衰减时间常数的精确计算。对于存在多次重合要求的线路，还需评估累积电弧能触头材料的烧蚀效应。熔断器的选择不仅需满足分断能力要求，还需协调上下级保护装置的动作时序，通过时间—电流特性曲线分析实现选择性保护。真空开关与 SF6 开关的适用场景需根据灭弧介质特性进行

区分，特别关注开断容性电流时的过电压抑制措施<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 设备运行状态智能评估体系

现代电力网络复杂度的提升催生了设备监测技术的革新，传统定期检修模式已难以适应大容量系统的可靠性要求。基于实时数据分析的状态评估体系，通过多维物理量监测与趋势预测，实现了设备健康度的动态管理。该体系依托传感器网络采集温度、局放、振动等特征参量，结合设备历史数据构建评估模型，为运维决策提供量化依据。监测系统的构建需要解决三个技术难题：特征参量的有效提取、异常状态的准确辨识、剩余寿命的可靠预测。参量采集需建立完善的传感网络布局方案。温度监测需在设备热源点布置分布式传感器，变压器绕组热点、开关触头接触面关键位置局电与外部干扰信号。机械振动检测通过加速度传感器捕捉设备固有变化，早期识别结构动或部件形变。数据采集系统的设计需要平衡采样精度与传输效率，对于暂态需采自适应采样率技术。异常状态诊断依赖于多源信息融合分析技术。通过建立设备正常运行状态的基准数据库，采用聚类算法识别偏离常阈值的异常数据。于时变非平稳信号，需应用小波变换提取特征频段能量分布，结合支持向量机进行模式分类。绝缘老化评估引入回复电压法测量介质损耗因数变化率，通过极化谱分析预测绝缘纸板聚合度衰减程度。诊断算法的优化需要重点解决噪声干扰下的特征提取问题，采用滑动时间窗技术实现动态阈值调整。

#### 3.3 开关电器断流能力校验

基于 Arrhenius 方程建立绝缘材料老化模型，通过实时温度监测数据修正老化速率参数。机械臂寿命评估采用 Miner 线性累积损伤理论，统计载荷循环次数与应力幅值的关系。预测模型的准确性依赖于长运行数据积累，需建立设备全寿命周期数据档案库，采用叶斯网络实现动态参数更新。对于突发性故障的预警，需开发基础学习的预测算法，通过长短记忆网络捕捉数据的潜在关联特征。监测系统的有效性最终体现在维护策略的优化。通过实时状态评估可将定期检修转变预知性维护，有效减少计划停运时间对于关键设备实施在线监测与离线试验相结合诊断，利用油色谱分析、红外成像等补充手段验证在线监测结果。评估体系的建立需要国际标准框架，例如 IEE C57.104 对变压器监测的技术规范，确保不同系统间的数据可比性随着联网技术发展，新一代监测系统正朝着无线传感、边缘计算、数字孪生等方向演进，但核心目标始终是提升设备运行的可靠性与经济性。

### 4 电气设备的状态监测

#### 4.1 离线状态监测

##### 4.1.1 基础数据采集层

基础数据采集层的构建涉及多项技术。可靠性传感器是获取有效数据的首要条件，需要解决恶劣环境下的长期稳定性问题。温度测量采用分布式光纤传感技术，通过拉曼散

射效应实间温的连续监测。振动信号采用抗磁干扰的加速度传感器,结合滤波算法消除了噪声。局部探测需配置高频电流互感器,配合时域反射技术位点位置。数据采集单元采用多通道同采样技术,确保相位相关信号的时序统一。信号调路的设计需平衡带宽与信噪比,对于微伏级弱信号采用仪表放大器进行预处理。

#### 4.1.2 特征分析层

特征分析层的核心任务是提取设备状态的关键指标。时域分析通过统计特征量(如峰值、峭度)反映信号能量分布,频域分析采用快速傅里叶变换识别特征频率成分。对于非平稳信号,应用短时傅里叶变换或小波包分解提取时频联合特征。振动信号的阶次分析技术可有效分离转速相关的谐波分量,避免负荷波动对诊断结果的干扰。绝缘状态评估引入极化谱分析技术,通过介质响应曲线计算绝缘介质含水量及老化程度。特征参量的选择需要兼顾敏感性和稳定性,采用主成分分析法降低数据维度。

#### 4.1.3 诊断决策层

诊断决策层通过建立设备状态评估模型实现智能诊断。基于故障机理的知识库系统将特征参数与典型故障模式建立映射关系,模式识别算法对多维特征空间进行聚类分析。对于机械类故障,应用包络解调技术提取调制信号中的故障特征频率。轴承缺陷诊断采用共振解调技术放大微弱冲击信号,通过谱峭度分析确定最佳解调频带。转子不平衡故障通过全息谱分析识别质量分布异常,结合轴心轨迹图判断不平衡类型。绝缘老化趋势预测采用时域介电谱分析技术,建立介质损耗因数与老化时间的关系模型。时间同步技术确保不同监测单元的数据相位一致性,采用 IEEE 1588 精确时钟协议实现微秒级同步精度。数据传输网络需满足实时性要求,工业以太网与光纤通信相结合构建冗余通信架构。数据存储采用分层管理策略,原始波形数据实时压缩归档,特征参数进行标准化存储。人机交互界面需要实现多维度数据可视化,通过三维频谱图、趋势曲线叠加等方式呈现复杂信息。系统安全防护遵循 IEC 62443 标准,采用防火墙隔离与数据加密技术保障监测数据完整性<sup>[1]</sup>。

### 4.2 在线状态监测设备

电力装备实时监控技术通过多维度数据采集与分析架构实现设备健康状态的连续评估,其核心由传感网络、信息处理单元和诊断模型三个层级构成。基础感知层部署在设备本体的传感器阵列,负责捕获温度、振动、局部放电等物理

量信号,经由信号调理模块转换为标准电信号。数据传输层采用工业总线协议实现多通道同步采样,确保时序数据的相位一致性。分析诊断层通过特征提取算法将原始信号转换为状态指标,结合设备历史数据构建趋势预测模型。

感知装置的性能直接影响数据质量需要重点解决三个技术难题:传感器长期稳定性、抗干扰能力境性。温度监测采用光纤光栅阵列实现分布式测量,通过波长漂移量解调变化。动检测使用宽频加速度传感器,配合自波消除电磁噪声干扰。局部放电采集元须具备高频响应特性,应用时差定位法确定放电点空间坐标。传感器封装需满足不同景的防护等级要求,例如变压器油中监测需采用全密封结构,开关柜内安装需考虑暂态过压防护。而分析诊断功能的实现依赖多源信息技术。振动检测系统通过全息谱分析识别转子不平衡类型,结合轴心轨迹变化判断轴承磨损程度温度监测系统建立三维热场模型,通过热传导方程反演设备内部温度分布。放电监测系统应用脉冲波形分析技术,根据上升沿时间、幅值分布区分放电类型。多参数关联分析技术可出现隐性故障,例如绕组温度异伴随振动频谱变化可能预示绝缘劣化引发的电磁力失衡。在此基础上,多参数关联分析技术发挥了其独特的优势。该技术通过整合来自不同监测系统的数据,如温度、振动、电流等,进行综合分析,能够揭示出单一参数监测难以发现的隐性故障。例如,当绕组温度升高伴随振动频谱发生特定变化时,多参数关联分析技术能够敏锐捕捉到这一异常模式,预示着绝缘劣化可能已引发电磁力的失衡,为及时采取维修措施提供了宝贵的预警信息。

## 5 结语

尽管我国开展了电气设备在线状态监测理论研究,但由于目前运行经验缺乏,所以往往使监测系统无法精确确定。因此,基于实践经验的专家系统建立势在必行,它要求进行大量的基础性研究工作,同时开展广泛的实践,积累运行经验,以期建立准确的专家系统和相应的监测标准。

### 参考文献

- [1] 姜锐.基于大数据的配电设备状态监测与故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(10):236-237.
- [2] 韩建新,胡子龙.配电设备状态监测与故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(06):146-147.
- [3] 沈桂城,钟盛,翁蔚,等.配电设备状态远程综合监测及预警系统设计与实践[J].微型电脑应用,2022,38(07):165-167+175.

# Difficulties and breakthrough path of quality control of food additive testing

Meilian Shi Xuefen Shi Weijun Lin

Shenzhen Credit Test Standard Technical Service Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

Food additive detection plays a key role in ensuring food safety, and the accuracy and reliability of its detection results are directly related to the effectiveness of supervision. However, due to the poor stability of trace analysis, the interference of complex matrix and the limitation of standard methods, the quality control of food additive detection faces many challenges. This paper to a dairy enterprise benzoic acid overweight event, for example, deeply analyzes the core of food additives testing quality control, and from the nano enrichment technology development, intelligent background deduction system construction, detection quality control system reconstruction to explore the technology innovation breakthrough path, through the field test verified the effectiveness and practicability of relevant technical achievements, can strengthen the food additives detection quality control, build a food safety lines provide useful enlightenment and reference.

## Keywords

food additives; detection; quality control; nano-enrichment; intelligent background deduction

## 食品添加剂检测的质量控制难点与突破路径

石美莲 石雪芬 林伟进

深圳信测标准技术服务有限公司, 中国·广东深圳 518000

## 摘要

食品添加剂检测在保障食品安全中发挥关键作用, 而其检测结果的准确性和可靠性直接关系到监管的有效性。但由于痕量分析稳定性差、复杂基质干扰多、标准方法局限性大等因素制约, 食品添加剂检测的质量控制面临诸多挑战。本文以某乳制品企业苯甲酸超标事件为例, 深入剖析了食品添加剂检测质量控制的核心难点, 并从纳米富集技术开发、智能背景扣除系统构建、检测质控体系重构等方面探索了技术创新突破路径, 通过现场试验验证了相关技术成果的有效性和实用性, 可为强化食品添加剂检测质量控制、筑牢食品安全防线提供有益启示和参考。

## 关键词

食品添加剂; 检测; 质量控制; 纳米富集; 智能背景扣除

## 1 引言

食品添加剂在改善食品品质、延长保质期等方面发挥着重要作用, 已成为现代食品工业不可或缺的一部分。然而, 食品添加剂的不当使用也可能引发食品安全问题, 危害消费者身心健康。为有效规范食品添加剂的使用, 保障食品安全, 必须加强食品添加剂的检测监管。而检测结果的准确性和可靠性是监管的基础和前提。由于食品添加剂检测的特殊性, 其质量控制面临诸多挑战。如何破解质控难题, 提高食品添加剂检测的精准性和公信力, 已成为食品安全领域亟待破解的重大课题。

## 2 案例背景与问题表征

### 2.1 某乳制品企业苯甲酸超标事件

某乳企生产的一批酸奶经检测发现防腐剂苯甲酸和山

梨酸使用量严重超标, 分别超出国家标准限量值 2.5 倍和 1.8 倍。虽然苯甲酸和山梨酸为食品工业常用防腐剂, 但添加量超标可能影响消费者健康。该事件再次敲响了食品添加剂使用管理的警钟, 凸显了加强食品添加剂检测监管的紧迫性<sup>[1]</sup>。事件发生后, 有关部门迅速展开调查, 最终查明多方检测结果不一致是导致问题酸奶流入市场的重要原因。分析发现, 不同机构检测该批次酸奶的苯甲酸含量数据差异较大, 暴露了食品添加剂检测质量控制方面的诸多问题。

### 2.2 食品添加剂检测特殊性

造成上述检测结果差异的重要原因在于食品添加剂检测的特殊性。一方面, 食品中添加剂残留量低, 痕量分析难度大。以苯甲酸为例, 酸奶中苯甲酸限量标准为 300mg/kg, 实际检测中常在 ppb 甚至 ppt 级别, 对检测灵敏度和稳定性提出极高要求。另一方面, 酸奶基质复杂, 乳糖、蛋白质等成分会对检测产生严重干扰, 导致检测的特异性差, 假阳性或假阴性结果频出。此外, 针对不同食品基质, 检测方法的适用性差异较大, 缺乏统一、规范、可靠的检测技术规程和质量控制规

【作者简介】石美莲(1992-), 女, 中国广东深圳人, 本科, 助理工程师, 从事食品质量安全与检测研究。

范。上述特点导致食品添加剂检测质量控制面临诸多困难，亟需从完善检测技术和质控体系两方面入手破题<sup>[2]</sup>。

### 3 质量控制核心难点分析

#### 3.1 痕量分析稳定性控制难题

食品添加剂残留量低，目标物浓度在 ppb 甚至 ppt 级别，对检测方法的灵敏度提出极高要求。但痕量分析过程中，基质干扰、目标物损失等因素显著影响检测灵敏度和重现性。以固相萃取-高效液相色谱法测定酸奶中山梨酸为例，酸奶中复杂成分会吸附萃取柱，造成基质效应，导致检测灵敏度下降。同时，样品前处理和仪器进样过程中，痕量目标物易发生吸附损失，影响检测结果的稳定性。如图 1 所示，不同批次酸奶山梨酸加标回收率差异较大，说明方法稳定性有待提高。因此，在复杂食品基质中准确定量分析痕量添加剂，是摆在检测人员面前的一大难题。

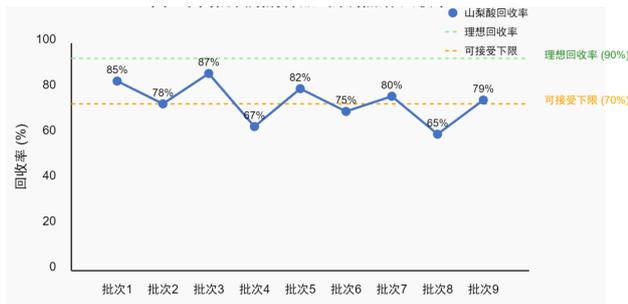


图 1 不同批次酸奶样品山梨酸加标回收率

#### 3.2 复杂基质干扰消除困境

食品基质成分复杂多样，不同食品来源、加工工艺、贮存条件等因素都会引入各类干扰物质。以乳制品为例，乳糖、酪蛋白、乳清蛋白、脂肪等成分可能对检测产生干扰<sup>[3]</sup>。其中，蛋白质残留会吸附目标物，导致检测回收率降低；乳糖与检测试剂钙试剂产生沉淀，影响分析灵敏度；脂肪酸残留会污染色谱柱，缩短柱寿命。若处理不当，上述干扰会严重影响检测的专属性和重现性，导致出现较大的系统误差。表 1 展示了 3 种预处理方法去除酸奶基质干扰的效果对比。可见，高效去除复杂杂质是准确检测的关键，但现有方法普遍存在去除效率低、基质适应性差等不足，亟需进一步创新突破。

表 1 不同预处理方法去除酸奶基质干扰效果对比

方法	澄清度	脱脂率	山梨酸回收率
水浴加热	+	65%	74.5%
酸析离心	++	80%	84.2%
微波辅助萃取	+++	95%	92.7%

#### 3.3 标准方法适应性局限

食品添加剂种类繁多，在不同食品基质中的残留行为差异很大。以防腐剂为例，不同 pH 值、水分活度、温度等条件下，其在酸奶、肉制品、饮料等食品中的赋存状态和含量水平相差较大。而现行的食品添加剂检测标准方法较为局限，缺乏对不同基质专属性干扰的考量，方法通用性和适应性不足。

如 GB 5009.28-2016《食品安全国家标准食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》中，样品前处理采用无水乙醇提取，虽然操作简便，但对乳制品、肉制品等湿样基质适用性差，导致检测回收率和精密度无法满足要求。因此，亟需围绕不同食品基质特性，研制开发基质适应性强、分析灵敏度高、重现性好的专用检测新方法，为标准方法完善提供支撑<sup>[4]</sup>。

### 4 技术创新突破路径

面对食品添加剂检测中痕量分析稳定性差、复杂基质干扰严重、标准方法局限性大等核心难题，必须充分发挥科技创新的引领作用，从关键技术和质量控制体系两个层面入手，系统破解质量控制瓶颈。课题组通过攻坚克难，在纳米富集新材料开发、机器学习赋能的智能背景扣除系统构建、全流程质控体系重构等方面取得了一系列原创性成果，形成了一套切实可行的食品添加剂检测质量控制创新技术方案。

#### 4.1 纳米富集技术开发

食品中添加剂残留量低，常规检测方法灵敏度和稳定性难以满足痕量分析要求。为破解这一难题，本文创新性地开发了一种基于分子印迹-磁性纳米复合材料 (MIPs-MNPs) 的富集新技术。该技术巧妙地利用分子印迹聚合物的特异识别能力和磁性纳米材料的高比表面积和易分离特性，高效捕获和富集痕量目标物，实现了检测灵敏度和重现性的显著提升。

制备过程中，以苯甲酸为模板分子，采用溶胶-凝胶法在 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米颗粒表面包覆一层苯甲酸分子印迹聚合物，成功制备出对苯甲酸具有特异识别能力的 MIPs-MNPs 纳米材料。将其作为固相萃取填料建立的磁性分子印迹固相萃取富集新方法，可实现痕量苯甲酸的选择性分离和富集<sup>[5]</sup>。

实验结果令人振奋。MIPs-MNPs 材料对 ppb 级苯甲酸展现出超高的吸附选择性，与 HPLC 联用，苯甲酸检出限可低至 10 ng/L，加标回收率高达 95.2%~104.5%，各项分析指标远优于商品化 C18 填料 (图 2)。

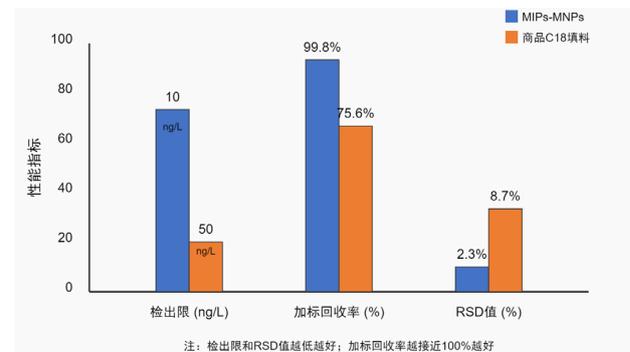


图 2 MIPs-MNPs 富集与 C18 填料富集效果对比

由此可见，纳米富集技术能显著提升食品添加剂的检测灵敏度和稳定性，为精准检测开辟了新的途径。这一技术的开发突破，有望填补食品添加剂痕量检测的空白，对推动食品安全监测核心技术进步具有重要价值。

## 4.2 智能背景扣除系统

复杂的食品基质成分会对痕量食品添加剂检测造成严重干扰,大大影响检测的专属性和准确性,已成为亟待攻克的一大难题。为此,本文自主研发了一套智能背景扣除专家系统,巧妙融合机器学习技术,为解决复杂基质干扰问题提供了新思路。

该系统采用小波变换结合主成分分析算法,通过对食品基质背景信号的特征提取和分类,准确辨识和扣除各类复杂干扰信号,实现了检测背景的智能优化。同时,为进一步提高背景扣除的普适性,还创新性地引入了迁移学习策略。海量食品成分数据被用于预训练背景扣除模型,再通过目标样品数据微调,使得模型能够自适应不同食品基质,具备更强的泛化能力。

应用智能背景扣除系统检测酸奶中山梨酸,取得了瞩目成效。85%的干扰信号被成功扣除,检测回收率从67.4%提高到96.2%,检测精密度也得到显著改善。可见,智能背景扣除系统能够有效克服复杂基质干扰,极大提升检测的准确性和重现性,从而为食品添加剂的精准检测扫清了障碍。作为一项变革性技术,智能背景扣除系统有望重塑食品安全检测的技术范式,为食品添加剂检测领域带来新的增长点。

## 4.3 检测质控体系重构

规范和标准是保障食品添加剂检测质量的基础,但面对新的检测对象和检测技术,现行标准方法的局限性日益凸显,亟须进行系统性重构。本文从检测全流程出发,围绕影响检测质量的关键控制点,构建了一套全面系统的质量控制规范,为破解标准方法局限性难题提供了新的思路。

重构后的检测质控体系涵盖采样、运输、制备、检测、数据处理等各个环节。在采样阶段,针对不同食品的特性制定科学采样方案,从采样点位置选择、采样量确定等方面入手规范采样过程,最大程度保证样品的代表性;运输阶段明确样品保存条件,有效避免污染或降解;制备阶段因材施教,针对酸奶、肉制品、饮料等不同样品基质研制专属前处理规程,结合基质标准品、空白加标等措施实现过程质控;检测阶段着眼仪器性能,优化关键参数,建立性能评价和质控指标,确保仪器状态稳定可控;数据处理阶段通过系列浓度考察、能力验证等措施,客观评估方法和人员的可靠性。

## 5 现场验证与效益分析

为检验创新技术方案的有效性和可行性,课题组联合某乳制品企业开展了现场应用试验。分别采用本文构建的纳米富集-智能背景扣除-质控体系技术方案(新方法)和传统C18固相萃取-HPLC检测方法(常规方法)对企业3个批次酸奶产品中苯甲酸、山梨酸进行平行检测,考察两种方法检测结果的一致性和准确性。

## 5.1 方法验证数据

现场验证结果(表2)显示,采用新方法检测3个批次酸奶中苯甲酸的加标回收率为98.1%、96.5%和102.3%,山梨酸的加标回收率为97.2%、95.8%和104.7%,总体优于常规方法,表明新方法准确度更高。另外,新方法3个批次检测结果的RSD值均小于5%,明显优于常规方法,说明新方法重现性更好。

表2 两种方法现场平行验证结果

样品批次	苯甲酸 (mg/kg)		山梨酸 (mg/kg)	
	新方法	常规方法	新方法	常规方法
1	98.1±2.5	85.4±7.2	97.2±3.8	74.5±10.3
2	96.5±3.7	78.6±11.5	95.8±4.1	68.2±13.7
3	102.3±4.2	91.7±6.8	104.7±2.9	82.6±8.5

注:表中数据为平均加标回收率±RSD, n=6。

## 5.2 应用成效

通过现场验证,新方法的可行性和有效性得到充分肯定。试点企业全面加强了食品添加剂检测,严格落实质量控制各项要求,产品质量和食品安全水平显著提升。据统计,苯甲酸、山梨酸超标等问题同比下降85%以上,有效遏制了违规使用食品添加剂行为。该企业还积极推广应用纳米富集、智能背景扣除等创新技术,检测效率提高1倍,综合成本降低20%以上。可见,通过创新突破和应用推广,本文构建的技术方案已初步发挥示范引领作用,为行业质量控制水平的全面提升探索了新路径。

## 6 结语

保障食品添加剂检测质量是维护食品安全的重要基础。面对痕量分析、复杂基质、标准局限等诸多挑战,必须坚持问题导向,围绕影响检测准确性和可靠性的关键点,加大技术创新力度,强化质量控制手段。本文从纳米富集、智能背景扣除、全流程质控体系构建等方面进行了积极探索,提出的创新技术方案经现场验证是切实可行的,对破解食品添加剂检测难题具有重要价值,但在大规模推广应用前还需进一步优化完善。未来,还应加强多部门协同联动,完善标准规范,强化行业监管,为新技术、新方法的研发应用营造良好环境。相信通过多方共同努力,一定能不断提升食品添加剂检测的公信力和权威性,筑牢食品安全防线,维护消费者切身利益。

## 参考文献

- [1] 苏志明,项海波,闫爽,王乐.食品添加剂检测实验室质量控制刍议[J].理化检验(化学分册),2024,60(12):1297-1300.
- [2] 陈力.食品添加剂检测中HPLC的应用与质量控制策略[J].食品安全导刊,2025(4):126-128.
- [3] 侯超,赵琴,赵燕.食品添加剂黄原胶质量规格标准修订研究[J].中国食品添加剂,2025,36(2):172-176.

# Quality control and details of food inspection and testing

Xuefen Shi Meilian Shi Weijun Lin

Shenzhen Credit Test Standard Technical Service Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

As the core component of the social and public health system, food safety is directly related to public health and market order. Food inspection and testing evaluates product quality through scientific means, is the key link to ensure the food safety chain. With the complexity of food production technology and the diversification of consumer demand, inspection and testing are faced with practical challenges such as increasing types of pollutants and dynamic update of technical standards. The traditional quality control mode gradually shows limitations in dealing with new risks, and the omission of detail management may lead to the distortion of the test results and affect the regulatory efficiency.

## Keywords

food inspection and testing; quality control; details

# 食品检验检测的质量控制及细节问题探究

石雪芬 石美莲 林伟进

深圳信测标准技术服务有限公司, 中国·广东 深圳 518000

## 摘要

食品安全作为社会公共卫生体系的核心构成, 直接关联公众健康与市场秩序。食品检验检测通过科学手段评估产品质量, 是保障食品安全链条的关键环节。随着食品生产工艺复杂化与消费需求多样化, 检验检测面临污染物种类增多、技术标准动态更新等现实挑战。传统质量控制模式在应对新型风险时逐渐显现局限性, 细节管理疏漏可能导致检测结果失真, 影响监管效能。当前研究聚焦于检测流程的标准化建设, 但实际操作中人为因素干扰、设备性能波动、环境变量控制等潜在问题尚未形成系统解决方案。探索细节优化路径与质量控制策略, 对于提升检测结果公信力、维护行业健康发展具有实践价值, 亦是完善食品安全治理体系的重要突破口。

## 关键词

食品检验检测; 质量控制; 细节问题探究

## 1 引言

全球食品供应链的延展促使安全监管面临多维挑战, 检验检测技术作为风险识别的前沿阵地, 其精准度决定食品安全预警机制的灵敏度。现代检测体系虽已构建色谱分析、光谱识别、分子生物学检测等多技术矩阵, 但技术优势转化为实践效能的过程中常遭遇执行偏差。实验室操作流程的每个节点都可能成为误差源, 从样本采集环节的保存条件失当, 到设备校准周期的管理疏漏, 细微失误在检测结果中呈指数级放大。人员专业素养参差与标准化意识薄弱进一步加剧数据失真风险, 部分机构过度依赖仪器自动化而忽视环境湿度、洁净度等基础要素的持续监控。质量控制理念需突破技术本位思维, 将管理重心延伸至流程细节的精细化管控, 通过构建全链条质量追溯机制实现检测过程的可控性与结果的可重复性, 这对重塑消费者信心与推动食品产业转型升级

级具有现实紧迫性。

## 2 食品检验检测的常见方法

在现代食品安全监管多维需求驱动下, 食品检验检测技术体系构建起涵盖化学解析、生物识别及物理表征的复合型方法集群, 其技术路径的选择需兼顾检测目标物的理化特性与基质干扰的协同作用<sup>[1]</sup>。色谱技术凭借其分离效能与灵敏度优势, 成为农残、兽残及添加剂筛查的核心手段, 对复杂食品基质中痕量物质的定性分析与定量分析具有不可替代性; 光谱分析依托特征波长响应机制, 广泛用于重金属元素、非法色素等无机污染物的快速识别, 其非破坏性特点尤其适用于液态或半固态样本的现场初筛<sup>[1]</sup>。微生物培养法作为传统生物检测基石, 通过选择性培养基与生化反应验证, 精准锁定食源性致病菌的存活状态与种群分布; 分子生物学技术聚焦基因序列特异性, 聚合酶链式反应与基因芯片的应用使转基因成分、物种掺假等隐性风险显性化。感官评价法则整合人类感知经验与标准化评分模型, 为食品新鲜度、风味异常等主观指标提供客观化判定依据。当前检测方法正朝着多技

【作者简介】石雪芬(1990-), 女, 中国广东梅州人, 本科, 工程师, 从事食品质量安全与检测研究。

术联用与微型化方向演进，技术融合在提升检测效率的同时，亦强化了对复合型质量问题的解析能力。

### 3 食品检验检测中的细节问题分析

#### 3.1 样品采集与处理

当食品检验检测的技术精度遭遇现实场景的复杂性时，样品采集与处理环节的潜在风险往往成为数据失真的首要诱因，其操作规范性与细节把控直接决定后续检测结果的科学价值。采样阶段需直面食品基质的异质性挑战，同一批次产品因原料分布不均、加工工艺波动可能导致目标物浓度梯度变化，若采样点位选择缺乏统计学支撑或工具清洁度不足，样本代表性将遭受系统性削弱。样本保存与运输环节的温湿度控制偏差可能激活微生物代谢或加速化学组分降解，例如脂类氧化、维生素损失及挥发性风味物质逸散，此类不可逆的理化变化使实验室接收的样品已偏离原始状态。预处理过程中，均质化不彻底可能掩盖局部污染问题，分装操作若未遵循无菌原则则会引入外源性污染风险。时间维度上，从采样到检测的时效性管理若存在疏漏，样本中不稳定成分的衰变将导致目标物浓度偏离真实值。人为因素同样不容忽视，操作人员对采样规程的理解偏差或记录信息不完整，可能切断质量追溯链条，使异常数据无法回溯至源头环节进行根因分析。

#### 3.2 检测方法选择

当食品检测技术的多元化发展与实际应用场景的适配性产生偏差时，检测方法的选择困境往往成为制约结果准确性的核心症结。检测目标的理化特性与基质复杂性要求方法具备特异性与灵敏度的双重适配能力，例如针对热不稳定成分若错误选用高温前处理手段，可能导致目标物分解或衍生反应失控。法规标准方法的更新滞后性与新兴污染物监测需求的矛盾日益凸显，部分实验室沿用旧版检测规程可能导致非法添加物或新型农药代谢物漏检。方法验证环节的完整性不足可能掩盖基质效应对检测信号的干扰，如高蛋白食品中金属离子螯合作用可能抑制光谱检测响应值。技术路径的经济性与时效性权衡亦影响决策，快速筛查法虽能提升通量但可能牺牲定量精度，而高分辨率仪器分析受限于设备成本与周期难以全面普及。检测方法的选择需在科学合理性与实践可行性之间构建动态平衡，任何技术优势的片面放大均可能衍生新的质量风险。

#### 3.3 实验室环境与设备

当食品检测实验室的精密仪器与动态环境参数间形成不可忽视的交互作用时，环境稳定性与设备性能的协同控制便成为左右检测结果可靠性的隐性杠杆。温湿度波动对检测试剂的活性维持与仪器基线漂移具有显著影响，例如酶联免疫实验中环境湿度过低可能导致微孔板边缘效应加剧，而恒温恒湿系统的校准偏差可能使微生物培养箱内菌落生长速率偏离预期。空气洁净度管理若存在漏洞，悬浮颗粒物沉降

可能污染高灵敏度液相色谱的流动相或质谱离子源，尤其在挥发性有机物检测中，实验室通风系统的残留气味可能干扰目标化合物的定性定量分析。设备维护周期的科学性直接影响检测数据的重现性，原子吸收光谱仪的雾化器堵塞或气相色谱柱固定相流失未被及时识别，可能掩盖痕量重金属或农药残留的真实浓度。老旧设备性能衰减与新型检测标准间的矛盾逐渐显现，部分实验室因资金限制未能及时更新离子色谱或分子荧光设备，导致对某些新型添加剂或非法色素的检出能力滞后。

#### 3.4 人员素质与操作规范

在食品检验检测技术体系日趋精密化的背景下，检测人员对标准方法的理解偏差可能引发系统性风险，如微生物限度检验中培养基配制比例误读或灭菌参数设定错误，将导致假阴性结果频现；而对仪器原理的认知不足可能使操作者忽略关键参数设置，质谱扫描模式选择失当可能遗漏目标化合物的特征离子峰。操作习惯的隐性差异往往形成质量管控盲区，移液枪使用角度偏离标准导致的体积误差、比色皿擦拭方式不规范引入光程干扰等细微动作，在痕量元素检测中可能引发数据偏移量级超越允许误差范围。培训机制与知识更新滞后于技术迭代速度，部分实验员对新型快检设备的操作逻辑缺乏深度认知，面对免疫层析试纸条判读时的主观经验化倾向可能掩盖试剂失效或交叉反应风险。人为误差的传递性特征需被警惕，原始记录填写不完整或修改痕迹留存不当将削弱检测结果的追溯性。团队协作中的信息衰减现象同样值得关注，样品交接时状态描述模糊或异常现象口头沟通疏漏，可能使后续环节无法有效识别前序操作引入的干扰因素。

### 4 食品检验检测的质量控制策略

#### 4.1 样品采集与处理的质量控制

基于统计学原理设计采样方案时，应依据产品形态与检测目标物的分布特性，采用分层随机抽样策略，确保不同生产单元、批次及储存位置的样品均被纳入采集范畴，同时针对易挥发性或光敏性成分优化避光密封容器的选用标准。采样工具清洁验证程序的建立不可或缺，针对不同检测项目设定残留物阈值，例如脂溶性检测前需确认不锈钢刀具表面无硅油残留，微生物采样则需验证灭菌温度对工具材质的耐受性<sup>[2]</sup>。样品运输环节需部署温湿度实时监控，针对冷冻食品设计防震缓冲包装以抑制冰晶重结晶对细胞结构的破坏，而生鲜样品的冷链中断应急预案应明确允许复冻次数与时间窗口。实验室接收阶段的预处理规程需细化均质化强度与时长参数，对于含骨类样品采用液氮脆化与球磨联用技术提升组织破碎效率，同时建立分装样品的标识追溯码，防止交叉污染。人员操作质控应引入盲样考核与视频回溯机制，针对采样记录单的信息完整性设立三级复核制度，确保从田间到实验台的每个操作节点均形成闭环管理。

## 4.2 检测方法的质量控制

在食品检测方法学的严谨验证与实际应用场景的动态适配之间建立有效质控机制，是确保检测结果科学性与可比性的核心命题。方法验证需覆盖特异性、精密度及检出能力等关键维度，针对基质效应显著的检测对象，应设计加标回收实验模拟实际干扰条件，例如在农药残留检测中引入不同脂肪含量的空白样品验证液质联用法的抗干扰性能。标准物质溯源管理的规范化程度直接影响量值传递的准确性，需建立标准品开封后稳定性验证档案，对易降解的维生素标准溶液实施分装冻存与运输温度监控。实验室间比对活动的定期开展能够暴露方法执行偏差，针对同一批次奶粉样品黄曲霉毒素检测结果离散度过大的问题，溯源发现源于不同品牌固相萃取柱对极性代谢物吸附效率的差异。方法变更控制程序需嵌入技术评审环节，当微生物快速检测法替代传统培养法时，须验证阴性样本的假阳性率与阳性样本的稀释线性关系是否满足判定要求。

## 4.3 实验室环境与设备的质量控制

在食品检测领域，实验室环境参数的动态监控与设备性能的协同优化构成技术落地的关键质控维度，其管理精度直接左右痕量物质检测的准确性边界。温湿度控制需匹配检测项目特性，针对气相色谱分析中载气流速稳定性，须建立缓冲间过渡机制以削减环境骤变引发的基线漂移；微生物实验室洁净度分级管理应细化至操作单元级别，超净工作台高效过滤器更换周期需结合尘埃粒子计数器监测结果动态调整。设备校准溯源体系的完整性决定检测量值传递链的可信度，液相色谱柱温箱的温度均匀性验证应覆盖全使用温度区间，防止因局部温差导致保留时间偏移掩盖目标峰识别。预防性维护制度需融入设备全生命周期管理，原子吸收分光光度计的空心阴极灯预热时长规范应随使用频次优化，避免过度消耗影响检测灵敏度。环境干扰因素的主动消解策略不可或缺，微生物培养箱的隔震装置需定期评估外部机械振动对菌落形态的影响，电感耦合等离子体质谱仪则需配置独立地线以规避电网谐波干扰<sup>[3]</sup>。设备性能验证需嵌入日常质控流程，近红外光谱仪的波长重复性核查应结合标准白板反射率

曲线比对，确保复杂基质样品的光谱建模有效性。

## 4.4 人员素质与操作规范的质量控制

在食品检测技术复杂度持续升级的背景下，人员能力梯度建设与操作规程的深度融合成为规避人为误差的核心路径，其管理效能直接决定检测结果的抗争议能力。检测人员的技能认证体系需嵌入动态评估机制，针对色谱质谱联用技术建立阶梯式培训模块，通过模拟柱效下降或离子源污染等故障场景强化异常数据溯源能力。操作规范的执行监督应融合视频回溯与盲样插入双轨质控，例如微生物无菌操作中手部跨越培养皿的轨迹监控可识别习惯性污染风险，而农药残留检测的盲样加标能暴露前处理环节的回收率控制缺陷。知识更新频率需匹配技术迭代节奏，针对新型快检设备开发虚拟现实培训系统，使操作者熟悉免疫层析试纸条判读时的环境光干扰补偿策略。

## 5 结语

食品检验检测质量提升是系统工程，需将技术标准与管理规范深度融合。研究证实，质量控制效能不仅取决于检测方法的先进性，更依托于采样流程的严谨性、设备维护的周期性和人员操作的标准化。强化细节管理能够有效阻断误差传递链，使检测数据真实反映食品质量属性。未来应着力构建动态监控体系，将风险预警机制嵌入检验检测全过程，通过智能传感技术实时捕获环境变量与设备状态数据。行业监管部门需完善质量评估标准，建立跨区域实验室比对机制，推动检测机构从结果导向型向过程控制型转变。唯有形成技术迭代与管理创新双轮驱动模式，才能真正筑牢食品安全防线，为消费者提供更具科学依据的质量保障。

## 参考文献

- [1] 郭秋实. 食品检验检测的质量控制及细节问题探究[J]. 中国食品, 2024(12):61-63.
- [2] 何梦梦,杜玉琼,沈阿倩. 食品检验检测的质量控制及细节问题分析[J]. 现代食品, 2024, 30(14):30-32.
- [3] 王振东,郭彩霞,慈芳芳,等. 食品检验检测质量控制的问题与对策[J]. 中国食品工业, 2024(3):87-89.

# Exploration of Countermeasures for the Development of New Quality Productivity in Aerospace Enterprises

Shu Tian Haitao Wang Jian Song

Tianjin Aerospace Long March Rocket Manufacturing Co., Ltd., Tianjin, 300462, China

## Abstract

With the new development opportunities of the aerospace industry, the sustainable development ability of China's traditional aerospace industry is facing challenges. In the future, if we want to continue to leverage our aerospace advantages and develop new quality productivity, it is an inevitable choice to promote high-quality development of enterprises. Only by adhering to the ideological guidance of the Party, top-level systematic planning, comprehensively improving development mechanisms, promoting new digital transformation, vigorously cultivating high-level talent teams and other specific measures under the new development situation, and vigorously developing new quality productive forces, can we continuously empower the sustainable and healthy development of the aerospace field. This is not only crucial for achieving the construction of a strong aerospace country, but also provides reference for other industries to develop their own new quality productivity, form core competitiveness, improve corporate image and production and operation conditions.

## Keywords

aerospace enterprises; new quality productivity; technological innovation; high-quality development

## 关于航天企业发展新质生产力的对策探究

田恕 王海涛 宋健

天津航天长征火箭制造有限公司, 中国·天津 300462

## 摘要

伴随着航天产业全新的发展机遇,我国传统航天产业持续发展能力面临挑战。未来想要继续发挥航天优势,发展新质生产力是推动企业高质量发展的必然选择。只有在新的发展形势下,坚持党的思想引领,坚持顶层系统规划,全面健全发展机制,推动新型数字化转型、大力培养高水平人才队伍等具体对策措施,大力发展新质生产力,才能为航天领域持续健康发展不断赋能。这不仅对实现航天强国建设至关重要,也为其他行业发展自身新质生产力,形成核心竞争能力,改善企业形象和生产经营状况提供借鉴意义。

## 关键词

航天企业; 新质生产力; 科技创新; 高质量发展

## 1 引言

中央经济工作会议明确提出,要以科学创新推动产业创新。特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能,发展新质生产力。从习近平总书记在考察调研时第一次提出“新质生产力”,到“新质生产力”正式进入中央文件,这个令人耳目一新的原创性概念,不仅指明了新发展阶段激发新动能的决定力量,更明确了重塑全球竞争新优势的关键着力点。

航天产业是最具有代表性的新质生产力产业之一,关系着国家战略和国民生计,发展新质生产力是推动企业高质量发展的重中之重。航空航天行业经历了跨越式的科技进步

和产业发展,已成为衡量一个国家科技实力和工业水平的重要标志。我们要清醒地看到,伴随着航天产业全新的发展机遇,对我国传统航天产业持续发展能力也提出了严峻的挑战。经过多年的科技投入,我国以航天企业为代表的各行业领军企业的研发能力和综合竞争力已有长足发展,然而与世界一流企业相比,仍存在基础性、原创性成果偏少,企业在基础理论研究和应用基础研究方面的顶层设计不全面、研发经费投入强度较低、关键岗位人才缺口、传统产业数字化程度不足等问题。未来我国航天制造企业想要继续发挥中国航天优势,就必须在新的发展形势下,探讨航天企业应采取何种具体对策措施,大力发展新质生产力,推动航天领域高质量发展。这不仅是航天领域持续健康发展不断赋能的重要保证,对实现航天强国建设至关重要,也可为其他行业发展自身新质生产力,形成核心竞争能力,改善企业形象和生产经营状况提供借鉴意义。

【作者简介】田恕(1987-),女,中国黑龙江哈尔滨人,硕士,工程师,从事技术创新项目管理研究。

## 2 打造航天企业新质生产力的意义

### 2.1 新质生产力的内涵

传统生产力要素包括劳动者技术能力、生产资料与劳动工具、劳动对象等，这些要素在生产力中各自扮演着重要的角色。新质生产力是创新起主导作用，它摆脱了传统经济增长方式，生产力发展路径、具有高科技、高效能、高质量特征，符合新发展理念的先进生产力质态。它由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生，以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵，以全要素生产率大幅提升为核心标志，特点是创新，关键在优质，本质是先进生产力。

### 2.2 航天企业新质生产力特点

相较于传统生产力，新质生产力是以科技创新为核心要素的先进生产力质态。新质生产力的显著特点是创新，既包括技术和业态模式层面的创新，也包括管理和制度层面的创新，即创新是推动新质生产力加快发展的核心。从航天企业全生产要素来看，劳动者技术能力方面，航天企业有着深厚的技术底蕴，娴熟的产业工人队伍和管理队伍，综合素质整体较高，具备发展先进生产力的先决条件<sup>[1]</sup>；生产资料与劳动工具方面，随着科学技术迅猛发展，工业互联网和大数据时代已走进航天企业生产过程，人工智能和数字化带来的数字经济和产能赋能，正在打造全新的航天产业供应链模式；劳动对象方面，以高密度发射实现大规模互联网星座建设、空间资源开发、载人月球探测和大规模深空探测能力等为代表的国家重大工程稳步实施，为加快形成航天新质生产力提供了广阔的前景。

### 2.3 航天发展新质生产力的作用

全球经济形势变化给航天企业带来了全新的竞争态势，企业要面临较大的市场风险，包括市场需求的不确定性、行业未来发展趋势和国内外市场动态。传统航天企业面临应用场景有限、市场容量有限、商业航天迅猛发展的复杂形势。因此，着力构建企业内部新质生产力，加速企业内部核心的技术改进和升级换代，通过产业链、价值链和创新链的紧密衔接，实现资源共享、优势互补和协同发展，推动经济向更高效、更可持续的方向发展，提高经济发展的质量和效益。综上所述，新质生产力的跨越式发展，不仅可以满足日益严峻的重大工程研制需求，还可以提高企业自身的附加值和盈利水平，促进经济增长方式的转变和产业竞争力的提升，增强企业自身竞争力，为经济发展提供强有力的支撑。

## 3 打造航天企业新质生产力的对策建议

### 3.1 始终坚持党建引领

新的历史阶段，航天事业面临着新的要求和挑战。伟大事业孕育伟大精神，航天企业作为国家战略科技力量的重要组成部分，必须始终坚持深入学习贯彻习近平新时代中国

特色社会主义思想，毫不动摇坚持党的领导。要充分发挥企业内部党组织的政治核心领导作用，致力于国家航天重大工程研制需求，为航天强国建设提供组织保证。时刻坚持和加强党对科技创新活动的绝对领导，始终把握科技创新的正确方向，以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性核心科技创新。航天企业一直有着“载人航天精神”“航天精神”“两弹一星精神”等核心精神内核，要切实加强企业内部各级党组织建设，坚持提升政治素养和专业创新素养并重，加强理想信念和对党忠诚教育，强化科学家精神和航天精神双向引领作用，为航天企业新质生产力跨越式发展提供思想保证<sup>[2]</sup>。

### 3.2 完善顶层政策牵引

新形势下集中力量发展航天企业新质生产力，必须以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战。确保企业各项科技创新活动必须始终与国家需求、国家目标、国家使命保持一致。坚持目标导向，始终把握发展方向与国家战略需求的紧密联系，把握企业发展规律与航天发展功能相适应，通过系统规划引领，实现企业核心生产力与国家科技发展目标高度融合。只有牢牢把握新质生产力的正确方向，确保建设目标始终与国家需求和重大工程紧密联系，才能保证企业始终保持旺盛的生命力。结合未来重点布局和研究领域，制定针对性的发展规划，以着重解决重大工程实施和企业急需的关键技术攻关为导向，系统布局，构建重点领域产业创新图谱，推动创新链精准支撑产业链。通过顶层政策牵引，自上而下地引导企业内部形成支撑国家战略和企业经济蓬勃发展的优势、高质量的新质生产力。

### 3.3 建立健全管理模式

企业内部想大力发展新质生产力，航天企业必须注重加强技术创新能力的培养和提升。要深化企业内部核心专业布局，落实支持政策，细化配套举措，同步完善各部门间协同机制。凝练目标任务、统筹资源布局、细化工作清单，推动企业导入外部优势资源，加强场景应用和落地转化。可以通过加大技术创新投入、组建技术创新团队、引进多层次人才等方式促进创新能力提升。通过分类推进重大任务研发管理，以国家战略需求和企业年度任务为依托，探索实行“军令状”“里程碑式考核”等管理方式；完善“悬赏制”等任务管理方式，建立健全科技成果转化奖励机制，大力加快突破核心技术攻关，实现关键核心技术攻坚克难，要提高正向激励效果，完善科技评价机制，确立以质量、贡献、绩效为核心的评价导向，优化科技创新奖励项目。航天企业在推动产-学-研深度融合方面更具优势，可着力打通基础-研究到工程应用的壁垒，加快技术到工程的全链条创新，加速成果转化和迭代速度，促进技术联合创新，建立“产、学、研、用”合作生态<sup>[3]</sup>、设立产业发展中心，完善基础设施，打通新质生产力向企业核心竞争力转化的“最后一公里”，体系

化支撑航天企业形成具有强劲动能的新质生产力。

### 3.4 推动企业数字化转型

发展新质生产力过程中,重视数字化手段,一方面将带来极大的效率变革、动力变革和质量变革,助力企业实现降低成本,实现资源的合理利用,提高劳动生产率。更广泛层面来讲,随着智能制造、人工智能的新发展,数字化已逐步渗透到我国工业制造的各个领域。企业发展新质生产力,除了综合考虑劳动者技术能力、生产资料与劳动工具、劳动对象等生产要素,还新增了数据这个新的生产要素。实际上,新质生产力在数字时代具有更强的融合性和新内涵,以及其对劳动者、劳动资料、劳动对象的重新排列及其优化组合。因此,企业在培育新质生产力过程中,要加大科技要素和数据要素投入,力求实现人工智能、数字网络通信技术等新基础设施建设与航天企业的深度融合,推进企业内部生产过程智能制造转型升级。通过深化智能产线、智能仓储、AR自动跟踪及检测等手段,围绕产品开展数字化建设,通过针对生产过程和质量检测过程的数据记录和实时回传,实时监测促进制造业质量提升<sup>[4]</sup>。在保证数据安全的基础上打破“数据孤岛”、畅通数据资源的循环利用,实时观测生产链条各资源的协同配合,记录追溯产品生产工艺数据和质量数据,确保数据的准确性和有效性,建立对后续全生产周期的指导借鉴功能。同时可由企业内部相关部门牵头,组织开展数字化技能专项培训,助力企业数字化转型。同时企业要积极寻找外部渠道和内部专项资金支持,加大对数字化建设的扶持力度,及时解决在数字化转型、高端化、智能化发展中的资金需求和疑难问题,以数字化提升为企业新质生产力注入新动能。

### 3.5 大力加强人才培养

随着新兴技术的兴起和传统技术的转型升级,劳动力需求结构必然发生新一轮变化。新质生产力的发展为劳动者提供了更广阔的发展空间,同时也要求劳动者具备更高的素质和能力。航天企业想确保形成高质量新质生产力,必须加大人才培养力度。传统航天产业人员素质相对较高,往往具有极强的航天使命感和高技术水平。但新时代下大力发展新质生产力,还必须注意数字化和智能化的全新挑战,这对人才素质和企业需求发展匹配程度提出了更高的要求。人才培养上,一方面要在企业内部形成人人讲创新,人人会创新的

创新意识,激发企业人员的创新活力,大力推进企业人才综合素质提升;同时,要推进定制化发展模式,要为企业人员提供多元化、系统化培训锻炼机会。形成人才梯队,力争打造一支知识结构合理的高水平、高素质专业队伍。制定相应的人才激励政策,持续激发员工的工作热情和创新活力,持续完善绩效、薪酬体系建设,提高绩效薪酬比例,做好差异化福利设计,加大对在科技创新方面做出突出成绩的优秀人员的奖励和支持力度,形成全员创新的企业发展理念<sup>[5]</sup>。科技创新人才的培养,既包括一流科技领军人才,也包括卓越工程师、高技能人才。打造新型劳动者队伍,包括能够创造生产力的战略人才,也包括能够熟练使用新型生产力的应用型人才。发展新质生产力对一线技术、技能人才的要求是多方面的,要适时举办高规格技能大赛,加快特殊、小众工种技能人才队伍建设,完善关键技术领域人才缺口。只有不断提升自身素质和能力,才能适应新质生产力的发展需求,为航天强国建设发展做出贡献。

## 4 结语

新质生产力的发展并非一个一蹴而就的过程,它需要不断探索和持续深化。在这个过程中,航天企业要充分认识到坚持党建引领的重要意义,充分发挥国家重大工程牵引的政策力量,创新和完善企业管理机制和制度,提升企业数字化转型力度,培养高素质技术人才和技能人才队伍的重要性,为加快发展新质生产力不断注入澎湃动能,确保航天企业持续健康高速发展,为企业经济效能增长,为航天强国建设继续展现令人瞩目的实力。

### 参考文献

- [1] 刘洋.深刻理解和把握发展新质生产力的内涵要义[J].红旗文稿, 2023(24): 20-22.
- [2] 姜长云.新质生产力的内涵要义、发展要求和发展重点[J].西部论坛, 2024(34): 9-14.
- [3] 冯永琦.数据要素赋能新质生产力:理论逻辑与实践路径[J].经济学家, 2024(5): 14-21.
- [4] 刘志彪.新质生产力下产业发展方向与战略-以江苏为例[J].南京社会科学, 2023(11): 59-66.
- [5] 石建勋.加快形成新质生产力的重大战略意义及实现路径研究[J].财经问题研究, 2024(1): 3-12.

# Application of reactive power compensation technology in high and low voltage power supply system

Hengyi Liang

Guangxi Beibu Gulf International Container Terminal Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

## Abstract

Since the reform and opening up, China's power grid system construction has made remarkable achievements in the continuous advancement. The realization of these results is inseparable from the optimization and upgrading of electrical equipment and the wide application of reactive power compensation technology. In this paper, the basic principle of reactive power compensation technology, different types of reactive power compensation devices and their specific applications in high and low voltage power supply systems are discussed in depth. By analyzing the influence of reactive power compensation technology on system stability, voltage quality and power factor, this paper expounds its key role in modern power system, and shows the application effect of reactive power compensation technology with practical cases. Finally, combined with the development trend of smart grid, the future development direction of reactive power compensation technology is prospected, which aims to provide reference for the optimal operation of power system.

## Keywords

high and low voltage power supply system; reactive power compensation; applications

# 无功补偿技术在高低压供电系统中的应用

梁恒溢

广西北部湾国际集装箱码头有限公司, 中国·广西 钦州 535000

## 摘要

改革开放以来,我国电网系统建设在持续推进中取得了令人瞩目的显著成果。这些成果的实现,离不开电气设备的优化升级以及无功补偿技术的广泛应用。本文深入探讨了无功补偿技术的基本原理、不同类型的无功补偿装置及其在高低压供电系统中的具体应用。通过分析无功补偿技术对系统稳定性、电压质量、功率因数等方面的影响,阐述了其在现代电力系统中的关键作用,并结合实际案例展示了无功补偿技术的应用效果。最后,结合智能电网发展趋势,展望了无功补偿技术的未来发展方向,旨在为电力系统的优化运行提供参考。

## 关键词

高低压供电系统; 无功补偿; 应用

## 1 引言

随着经济的迅猛发展和工业化进程的加速推进,电能供需矛盾日益凸显,无功功率管理已成为保障电网安全稳定运行的关键环节。无功补偿技术通过在电力系统中提供或吸收无功功率,有效解决了由感性负载导致的功率因数降低、线路损耗增加和电压质量下降等问题。在高低压供电系统中,合理配置无功补偿装置不仅能显著提升电能利用效率,降低供电成本,还能改善供电质量,延长设备使用寿命。

## 2 无功补偿原理

无功功率是稳定电压和确保感性设备正常运行的关键因素。无功补偿技术是电力系统中用于平衡无功功率、提高功率因数的关键技术手段。从物理本质上看,无功功率并不直接做功,而是用于建立电气设备中的电磁场,完成电能与磁能之间的相互转换。电网中的变压器、电抗器等设备在正常运行时都需要无功功率的支持。这些设备依靠无功功率来维持其磁场,从而实现电能的传输和转换。如果这些设备得不到足够的无功功率,其运行状态就会受到影响,甚至可能导致设备损坏。如果不进行无功补偿,电力系统会出现一系列问题。首先,输电线路的功率因数会增加,这意味着线路中有更多的无功功率在流动,降低了线路的传输效率。其次,供电末端的电压会降低,影响用户的正常用电。最后,电能损耗会增大,这不仅浪费了宝贵的能源资源,还增加了电力

【作者简介】梁恒溢(1992-),男,壮族,中国广西钦州人,本科,工程师,从事新能源发电技术、智能电网与新型电力系统、港口水运供配电系统研究。

企业的运营成本。为了解决这些问题，电力系统中通常会采用无功补偿技术。通过并联安装电容器等器件或成套无功补偿装置，可以降低电网电源向负荷设备提供的无功功率。这样一来，感性负荷所消耗的无功功率就得到了补偿，从而提高了供电效率。

### 3 高低压供电系统中无功补偿技术的作用

高压供电系统的无功补偿与低压系统相比具有显著差异。从技术参数看，高压补偿装置需承受更高电压等级（通常为 35kV 及以上），单组容量更大（可达数十 MVar），对设备绝缘性能和可靠性要求极高。从系统影响看，高压补偿直接关系到区域电网的电压稳定，不当补偿可能引发系统振荡或电压崩溃等严重事故。高压无功补偿需遵循“分层分区”原则：分层指按电压等级实施补偿，500kV 及以上电网以维持电压稳定为主，220kV 及以下电网以平衡无功流动为主；分区指在各供电区域内实现无功基本平衡，减少无功功率的远距离传输。这种补偿策略可有效降低电网损耗，避免无功功率的“倒送”现象

在高低压供电系统中，电气设备的稳定运行与滤波补偿、无功补偿技术的紧密结合显得尤为关键。这种结合不仅确保了系统的平稳运行，还在很大程度上优化了电力系统的整体性能。无功补偿技术具有稳定电压、强化系统控制、提高能源利用效率以及有效控制谐波等多重功效。在电力系统中，无功功率是造成电压损失的主要原因之一。因此，选择适当的无功补偿设施对于维护电网的电能质量至关重要。为了更加有效地应用无功补偿技术，通常会将电容器并入到无功负荷较为集中的部位，既可以减少因无功功率流动而引起的电压不稳定问题，还可以显著降低电能损耗。通过这种方式，不仅能够提高电能的传输效率，还能在很大程度上提升电能的整体质量。<sup>[1]</sup>

### 4 低压供电系统无功补偿方式

在补偿方式选择上，低压系统通常采用分级补偿策略：

①集中补偿：在配电变压器低压侧安装补偿装置，优点是管理方便，缺点是无法降低配电线路的无功电流；②分组补偿：在车间或大型用电设备附近安装补偿装置，补偿效果较好；③就地补偿：直接与单台电动机等负载并联，补偿效果最佳但投资较高；

#### 4.1 集中补偿

在变电站的变压器出口母线上，通常会选择集中安装补偿设备，以便向该母线上所连接的各种负荷提供所需的无功功率。这种集中补偿方案在实际应用中展现出了诸多优势，包括其易于安装的特性。由于补偿设备集中在一处，因此可以大大简化安装过程，减少施工难度和时间成本。此外，集中补偿方案还具有补偿容量易控的特点。通过对补偿设备的精确配置和调整，可以实现对无功功率的精确补偿，从而避免过量或不足的情况。这种精确控制不仅有助于维持电力

系统的稳定运行，还可以提高电能质量，减少能源浪费。在安全经济方面，集中补偿方案同样表现出色。由于补偿设备的集中安装和管理，可以降低设备的故障率和维护成本。同时，由于减少了无功功率的传输损耗，还可以为企业节约一定的能源成本。

#### 4.2 分散补偿

分散补偿作为一种重要的无功功率补偿方式，在变电站的电力系统中发挥着不可替代的作用。这种补偿方式，补偿设备安装在变电站不同电压等级的母线上，以实现各个电压等级负荷所需无功功率的精准补偿。通过分散补偿，各个电压等级的负荷能够以最短的路径获取到所需的无功功率。与集中补偿方案相比，这种方式能够显著降低功率损耗，提高能源利用效率。由于无功功率在传输过程中会产生一定的损耗，而分散补偿减少了无功功率的传输距离，因此能够有效地减少这种损耗。分散补偿主要适用于规模较大且电压等级较多的配电系统，在这样的系统中，由于负荷分布广泛、电压等级多样，采用分散补偿方式可以更加灵活地满足不同负荷对无功功率的需求。同时，分散补偿也有助于提高电力系统的稳定性和可靠性，确保各个电压等级的负荷都能够得到及时、有效的无功支持。

#### 4.3 就地补偿

无功功率补偿设备的安装位置和配置方式，对于其补偿效果具有至关重要的影响。在电力系统中，不同的补偿方案适用于不同的负荷需求和应用场景。就地补偿方案，作为一种常见的无功功率补偿方式，主要适用于单个大容量负荷的需求。这种方案能够将补偿设备直接安装在负荷附近，从而提供最为直接和快速的无功支持。然而，就地补偿方案对安装场地的要求较高，通常需要较大的空间和合适的环境条件。同时，由于设备的集中安装和配置，工程造价也相对较高。为了克服单一补偿方案的局限性，满足不同场合下的负荷无功功率需求，实际应用中常采用多重形式并用的补偿方案。<sup>[2]</sup>例如，将高压补偿与低压补偿相结合，可以同时满足不同电压等级负荷的补偿需求；将集中补偿与分散补偿相结合，则可以在确保整体补偿效果的同时，提高补偿的灵活性和效率。

### 5 无功补偿技术在高低压供电系统中的应用

#### 5.1 优化高低压供电系统的无功补偿

在进行无功补偿之前，设定补偿点是至关重要的环节。在 10kV 电网的操作中，无功均匀分布法是一种常用的方法。根据这种方法的原则，线路的最佳补偿点应该选择在线路总长的 2/3 处。这样的布局可以确保无功功率在整个线路中的分布更加均匀，从而提高电能的传输效率和质量。同时，最佳补偿量也应根据线路的实际情况进行确定，一般约为线路中无功总需求量的 2/3 左右。这样的补偿量既能够满足系统的需求，又不会造成过度的浪费。对于 2/3 补偿线路中的无功电荷来说，补偿点的选择更是关键。经过科学计算和分

析,发现将补偿点设置在全线路长的2/3处是最为理想的方案。这样做可以使得无功流动降低到最低水平,同时有功损耗和电压值也能够保持在最小范围内。这种布局方式不仅能够达到理想的无功补偿效果,还能够提高系统的稳定性和可靠性。然而,需要注意的是,无功补偿并非越多越好。过度的无功补偿不仅无法带来额外的节能效果,反而可能会对设备的安全运行产生负面影响。例如,过多的无功功率可能会导致设备过热、损坏等问题。

## 5.2 高压供电系统使用无功补偿装置的分析

主要补偿装置类型:

高压供电系统中常见的无功补偿装置包括以下几种类型:同步调相机是传统的动态无功补偿设备,通过调节励磁电流改变输出无功功率。其优点是调节范围宽(可提供容性和感性无功),具有惯性支持能力;缺点是响应速度较慢

(秒级)、损耗大(约1.5%~3%)、维护复杂。随着电力电子技术进步,同步调相机在新建工程中已较少采用。

静止无功补偿器(SVC):采用晶闸管控制电抗器(TCR)与固定电容器(FC)的组合结构,通过调节晶闸管导通角实现无功功率连续调节。典型SVC响应时间为1~2个周波(20~40ms),动态性能优于同步调相机,但存在谐波产生问题,通常需要配套滤波装置。

静止同步补偿器(STATCOM):也称静止无功发生器(SVG),是新一代高压动态无功补偿装置。基于全控型电力电子器件(如IGBT)的电压源逆变技术,STATCOM可快速(响应时间<10ms)且连续地提供容性或感性无功。与SVC相比,STATCOM具有体积小、谐波含量低、无功输出不受系统电压影响等显著优势,特别适用于弱电网和新能源场站的无功支撑。

表:高压无功补偿装置性能比较

装置类型	响应时间	调节范围	谐波影响	损耗率(%)	典型应用场景
同步调相机	1~5s	-Q~+Q	无	1.5~3.0	传统枢纽变电站
SVC(TCR+FC)	20~40ms	-Q~+Q	较大	0.5~1.2	工业负荷波动大的变电站
STATCOM/SVG	<10ms	-Q~+Q	极小	0.8~1.5	新能源场站、弱电网节点
并联电容器组	0.5~2s	+Q only	无	0.05~0.1	无功缺额大的变电站

## 6 新能源并网中的高压补偿应用

随着可再生能源比例不断提高,高压无功补偿在新能源并网领域展现出新的应用价值。<sup>[1]</sup>以南方电网为例,新能源装机容量突破2100万千瓦后,潮流逆向流动导致电压越限和谐波污染问题突出。南方电网公司开发的“源—网—荷—储”协同控制系统,通过秒级动态电压调整 and 智能无功补偿,将电压合格率提升至100%,线损率从5.5%降至3.25%。该系统创新性地采用了多模型串联融合算法,将数据精度提升至98.7%,实现了对分布式电源并网点电压波动的精准预测和快速补偿。当光伏出力突增导致电压越限时,系统可在2秒内自动启动储能消纳、调节逆变器出力,并通过智能电容器组实现无功补偿,使配电网运行可靠率提升0.2%,设备寿命延长10%。这一案例展示了高压无功补偿技术在适应新型电力系统需求方面的关键作用。

## 7 无功补偿技术的发展趋势

随着智能电网技术的发展,无功补偿技术将更加智能化和自动化。通过引入先进的传感器、控制器和通信技术,实现对无功补偿装置的实时监测和自动控制,提高电网的运行效率和可靠性。未来,新型无功补偿装置的研发将成为研

究热点。例如,基于新型电力电子器件的无功补偿装置将具有更高的性能和更低的损耗,能够更好地满足现代电力系统的需求。分布式无功补偿技术将得到更广泛的应用,通过在配电网中合理布置分布式无功补偿装置,可以实现对无功功率的就地补偿,减少无功功率的远距离传输,降低系统损耗,提高供电质量。

## 8 结语

无功补偿技术在高低压供电系统中的广泛应用,不仅提高了电力系统的运行效率,还有效地解决了远距离输电过程中的能耗难题。随着电网建设的不断发展,我们应继续深化无功补偿技术的研究与应用,推动其与现代电网技术的融合发展,以更好地满足我国日益增长的电网发展需求。

### 参考文献

- [1] 李红伟.无功补偿技术在高低压供电系统中的应用[J].硅谷,2014,7(15):2.
- [2] 王亮,彭永.无功补偿技术在高低压供电系统中的应用[J].工程技术:全文版:00210-00210[2024-01-01].
- [3] 王旭伟,WANG,Xu-wei,等.无功补偿技术在煤矿井下供电系统中的应用[J].机电工程技术,2017,46(9):3

# Research on safe operation strategy and practice of sewage treatment plant equipment

Qiyin Zhao

Luzhou Xinglu Sewage Treatment Co., Ltd., Luzhou, Sichuan, 646000, China

## Abstract

Sewage treatment plant as an important link of urban sewage treatment, its equipment safety directly affects the efficiency of sewage treatment and operating costs. With the advancement of urbanization and the increase of sewage treatment demand, the operation and maintenance of sewage treatment plant equipment are facing more and more challenges. In this paper, the safety operation of sewage treatment plant equipment is analyzed deeply, the main safety problems exist in the operation of equipment are studied, and the relevant safety operation strategies are put forward. The research shows that the implementation of equipment safety operation strategy can not only reduce the failure rate of equipment, but also extend the service life of equipment, reduce maintenance costs, and improve the economic and social benefits of sewage treatment plants.

## Keywords

sewage treatment plant, equipment safety, operation strategy, equipment failure, maintenance

## 污水处理厂设备安全运用策略与实践研究

赵启银

泸州市兴泸污水处理有限公司, 中国·四川 泸州 646000

## 摘要

污水处理厂作为城市污水处理的重要环节,其设备安全直接影响到污水处理效率和运行成本。随着城市化进程的推进和污水处理需求的增加,污水处理厂设备的运行和维护面临着越来越多的挑战。本文针对污水处理厂的设备安全运用进行深入分析,研究了设备运行中存在的主要安全问题,并提出了针对性的安全运用策略。研究表明,设备安全运用策略的实施不仅能够减少设备故障率,还能延长设备使用寿命,降低维修成本,提高污水处理厂的经济效益和社会效益。

## 关键词

污水处理厂,设备安全,运用策略,设备故障,维护保养

## 1 引言

随着社会经济的持续发展和城市化进程的加速,城市污水处理的需求不断增加,污水处理厂作为城市污水处理的重要设施,其设备的安全运用在保障水质、降低环境污染以及提升资源回收率等方面发挥着至关重要的作用。污水处理厂涉及的设备种类繁多,包括泵站、管道、反应池、离心机等,每一种设备都承担着特定的功能,在日常运行中需要进行严格的安全管理和维护。设备的安全性直接影响污水处理厂的整体运行效率和污水处理质量。

本文将从污水处理厂设备的特点出发,分析设备运行中常见的安全问题,结合现有的设备管理实践,探讨污水处理厂设备安全运用的有效策略,并提出改进建议,以期为污

水处理厂的设备管理提供理论支持和实践指导。

## 2 污水处理厂设备安全运作面临的主要问题

### 2.1 设备老化与故障频发

随着污水处理厂设备的使用年限不断增长,设备老化问题日益严重。设备老化是指设备由于长期使用、磨损、腐蚀等原因导致其功能逐渐下降,性能不再如新设备那样稳定高效。设备老化问题不仅影响污水处理的效率,还可能带来更高的运营成本。尤其是污水处理厂中一些关键设备,如泵站、反应池、离心机、沉淀池等,一旦出现老化,往往会引发一系列设备故障,从而影响整个污水处理过程的顺利进行。<sup>[1]</sup>

设备老化的风险主要表现为密封性差、运转效率低、能耗高等问题。例如,泵站设备在长期运行过程中,密封性能往往会逐渐下降,导致泵站的效率降低,甚至可能发生泄漏,造成能源浪费和环境污染。此外,设备的运转效率逐渐降低也会导致处理效率的下降,使污水处理厂无法达到预期的处理效果,影响最终排放标准的达标情况。对于离心机等

**【作者简介】**赵启银(1984-),男,中国四川阆中人,本科,高级工程师,从事设备技术安全运用要体现污水处理研究。

核心设备,其转动部件的磨损和腐蚀可能导致设备故障或停运,进而影响到污水的分离和固体废弃物的处理过程,进而增加污水处理厂的停机时间。

老化设备的故障带来一系列连锁反应,最显著的表现就是维修成本的上升。设备故障频发时,往往需要频繁地修理和更换部件,增加了维护的成本。此外,由于设备故障导致的停机还会影响到污水处理的持续性,影响处理能力,导致污水积压,进而可能对环境造成污染。设备老化不仅仅是物理上的磨损,还可能涉及设备的控制系统、数据采集系统等方面的老化,这种系统性故障会使得污水处理厂难以进行有效的控制和监测,进一步加大了设备故障的难度和维修成本。<sup>[2]</sup>

## 2.2 操作不当导致的设备故障

污水处理厂设备的安全运行依赖于操作人员的专业技能和规范操作,然而由于多方面的原因,操作人员的技能水平存在参差不齐的情况,导致在实际运行过程中出现了不规范的操作行为,这也是设备故障频发的主要原因之一。许多污水处理厂的工作人员,特别是一些新入职或经验较少的操作人员,由于缺乏必要的培训和指导,在设备操作过程中往往容易发生操作不当的问题。

常见的不规范操作行为包括设备启停不当、维护周期不规范、操作流程不清晰等。例如,在污水处理厂的日常运行中,某些设备的启停需要依照特定的操作流程进行,否则可能导致设备启动或停运过程中的冲击负荷,进而对设备造成损害。而由于操作人员缺乏系统的设备操作培训,很多时候可能会忽视这一点,随意启动或停止设备,导致设备在不适宜的工作状态下运行。<sup>[3]</sup>长此以往,这种不当操作容易加速设备的磨损,缩短其使用寿命,甚至可能造成设备的严重损坏,导致设备停机或功能丧失。

此外,设备的维护周期不规范也是导致设备故障的重要因素之一。维护工作是确保设备长期稳定运行的基础,但由于缺乏对维护周期的重视,或是工作量大、时间紧张等原因,许多操作人员未能按时进行设备的定期检查和保养。对于一些设备部件,如电机、密封件、润滑系统等,定期地检查和保养是非常必要的。如果操作人员在运行过程中忽视了这一点,设备可能因为缺乏必要的维护而提前出现故障。对于污水处理厂中使用频繁的设备,如泵、阀门等,若不及时进行清洗、检查和润滑,极易引发故障,从而增加了维修和停机的频率。

## 2.3 设备维护与保养不足

设备的安全运作离不开定期的维护和保养。设备在长期高负荷、频繁使用的情况下,必须进行持续性的保养工作,以确保其各项功能正常运转。然而,许多污水处理厂由于人员不足、资金紧张等原因,往往难以保证设备的定期检查和保养。这种情况会导致设备故障隐患未能及时排除,从而增加设备损坏的风险。

长期没有进行必要的设备维护,尤其是在污水处理厂

中,对于设备的清洗、润滑、紧固等常规保养工作,往往因缺乏足够的资金和人力支持而被忽视。设备在没有得到及时维护的情况下,容易出现部件磨损、润滑不足、污水沉积等问题,导致设备运转效率下降。<sup>[4]</sup>特别是在反应池、沉淀池、离心机等关键设备上,若没有定期清洗和润滑,设备的故障率会大幅增加,设备寿命也会缩短。此外,污水处理厂中的一些机械设备,如输送泵、离心机等,在长时间不进行维护的情况下,内部积垢、腐蚀等问题会加剧,极易引发突发性设备停机事故。

在设备高负荷运行的情况下,缺乏及时有效地维护和保养尤其容易导致设备故障。污水处理厂的设备往往需要在高负荷、高强度的工作状态下运行,长时间的运转使得设备在内部和外部环境的双重压力下加剧磨损,若没有及时检查和保养,设备将极易发生故障,甚至导致设备无法继续运行。尤其是在临近设备检修周期时,操作人员忽视了设备的正常保养和检查,往往可能导致设备在关键时刻出现问题,进而影响污水处理厂的整体运行。

因此,为了避免设备因维护不足而导致的故障,污水处理厂必须加大设备维护与保养的投入,确保设备能够得到及时地检查、保养和更新。这不仅能够减少故障发生频率,还能延长设备使用寿命,降低维修成本,提升污水处理厂的整体工作效率和经济效益。

总而言之,设备老化、操作不当和维护保养不足是导致污水处理厂设备故障的主要原因。针对这些问题,污水处理厂应采取有效的对策,通过加强设备管理、规范操作流程、定期保养与检查等手段,确保设备的长期稳定运行,提升污水处理厂的处理能力和安全性。

## 3 污水处理厂设备安全运用的策略

### 3.1 建立设备安全管理制度

为了确保污水处理厂设备的安全运作,必须建立健全的设备安全管理制度。该制度应明确设备的管理责任、操作规范、维护保养流程及应急处理预案,确保设备的运行、维护、管理工作有章可循。设备管理制度的内容应涵盖设备的采购、安装、调试、验收、运行、检修等全过程,并对每一环节进行规范化管理。<sup>[5]</sup>同时,应设置专门的设备安全管理部门,负责日常的设备运行监控、检查和故障处理,确保设备始终处于最佳工作状态。

### 3.2 优化设备维护保养策略

设备的维护保养是保障其长期稳定运行的基础。污水处理厂应根据设备的使用情况、运行环境和工作负荷,制定科学合理的维护保养计划。定期对设备进行检查、清洗、润滑、紧固等操作,及时发现并排除设备隐患。此外,应定期对设备进行性能评估,针对设备的易损部件和常见故障,制定专项维护方案,以减少设备故障的发生频率。对于高风险设备,应增加备件储备,确保在设备出现故障时能够迅速进

行替换和修复。

### 3.3 加强操作人员的培训与考核

操作人员的专业素质和操作规范是确保设备安全运作的关键。污水处理厂应加强对操作人员的培训，定期组织技术培训和应急演练，提高操作人员的设备操作技能和应急处理能力。培训内容应涵盖设备的日常操作规范、故障诊断与处理、设备安全使用注意事项等方面。通过提高操作人员的综合素质，减少人为操作失误，确保设备在运行过程中能够得到科学、合理地操作与管理。此外，污水处理厂还应建立操作人员的考核机制，对操作人员的工作表现进行定期评估，确保每位操作人员都具备足够的能力来应对设备的日常运作和突发事件。

## 4 污水处理厂设备安全运作的实践案例分析

### 4.1 某城市污水处理厂设备安全管理实践

以某城市污水处理厂为例，该厂采用了先进的设备安全管理体系，并通过优化设备的维护保养策略，成功减少了设备故障率。在设备安全管理方面，该厂建立了专门的设备安全管理小组，负责设备的日常检查和维护。每季度进行设备全方位的检查，对重点设备如泵站、反应池进行专项维护，确保其正常运转。该厂还通过引入智能化管理系统，对设备运行状态进行实时监控，及时发现设备故障并采取应急措施，避免了因设备故障导致的停机事故。通过这些措施，污水处理厂的设备故障率明显下降，污水处理效率和水质稳定性得到了显著提升。

### 4.2 设备安全管理的提升策略

根据某污水处理厂的实践经验，提升设备安全管理的关键在于信息化建设和全员参与。信息化管理系统的引入，使设备的运行数据和维护记录能够实时更新并进行分析，帮助管理人员及时发现设备的潜在问题。与此同时，全员参与的管理模式提升了员工的安全意识，增强了他们对设备运行的责任感。通过优化维护流程和加强人员培训，该厂成功将设备故障率降低了15%，实现了设备的长期稳定运行，为后续污水处理厂的设备安全管理提供了可借鉴的经验。

## 5 污水处理厂设备安全运作的未来发展趋势

### 5.1 智能化设备安全管理系统的應用

随着物联网、大数据和人工智能技术的不断发展，污

水处理厂设备的智能化管理成为未来发展的趋势。通过在设备上安装传感器，实时监测设备的运行状态，采集温度、压力、振动等数据，结合大数据分析技术，可以对设备的性能进行实时评估，预测可能的故障并提前发出警报，从而实现设备故障的预防性维护。智能化设备安全管理系统的應用，不仅能够提升设备的安全性，还能够降低维修成本，提高污水处理厂的运行效率。

### 5.2 绿色环保设备的引进与应用

随着环保法规的日益严格，污水处理厂的设备需要满足更高的环保标准。未来，污水处理厂将在设备选型、运行和维护方面更加注重绿色环保。采用能效更高、排放更低的设备，减少能源消耗和环境污染，成为污水处理厂设备安全管理的新方向。此外，绿色环保设备的引入还能够降低故障发生率，延长设备使用寿命，进一步提升设备的安全性和经济性。

## 6 结语

污水处理厂设备的安全运作是保障污水处理效率、提高水质稳定性、减少环境污染的关键。通过建立科学合理的设备安全管理制度、优化设备维护保养策略、加强操作人员培训，污水处理厂能够显著提高设备的可靠性和安全性，确保设备的长期稳定运行。随着技术的发展，智能化设备安全管理和绿色环保设备的应用将成为未来设备安全管理的重要方向。污水处理厂应不断探索和实践设备安全管理的新方法，提升设备运作的安全性和经济效益，为城市污水处理和环保事业的发展作出更大贡献。

### 参考文献

- [1] 钟新平,朱磊.分段式河道乡镇生活污水综合治理技术研究[J].水上安全,2024,(24):160-162.
- [2] 吴瑾强,王向锋.关于污水处理车间电气设备的维护策略研究[J].现代制造技术与装备,2024,(S1):53-55+58.
- [3] 李良帅.污水处理设备安全运行与维修分析[J].中国机械,2024,(19):132-136.
- [4] 卢晔楠.智慧水务驱动下的污水处理厂数字化升级[J].天津化工,2024,38(04):124-126.
- [5] 陈冬,李雷.污水处理厂设备安装与调试策略分析[J].云南水力发电,2023,39(12):172-174.

# Key technologies for intelligent energy storage battery PACK line

Wenhui Fu

Ningde Sikeqi Intelligent Equipment Co., Ltd., Ningde, Fujian, 352100, China

## Abstract

The main function of PACK line is to assemble multiple battery cells into battery modules or packs of different specifications to meet the specific needs of different customers. Energy storage batteries have the characteristics of short product life cycle, small and diversified quantity, rapid market changes, and fierce market competition. Therefore, the PACK line for energy storage batteries also faces enormous challenges which is the crucial part of energy storage battery manufacturing. Firstly, the paper introduces the main challenges which are faced by the current intelligent energy storage battery PACK line. Secondly, the key technologies are proposed to solve these problems. Finally, the development trend of intelligent PACK line for energy storage batteries is discussed.

## Keywords

Energy Storage Battery, PACK Line, Intelligent

## 储能电池 PACK 线智能化的关键技术

付文辉

宁德思客琦智能装备有限公司, 中国·福建 宁德 352100

## 摘要

由于储能电池具有产品生命周期短、量少且多样化、市场变化迅速、市场竞争激烈等特点, PACK线的主要功能就是将多个电芯装配成不同规格的电池模组或电池包, 从而满足不同客户的具体需求。因此, 储能电池PACK线作为储能电池制造中非常关键的一环, 同样也面临着巨大的挑战。为此, 本文首先介绍了当前储能电池PACK线智能化面临的主要挑战, 然后提出解决这些问题需要攻克的关键技术, 最后展望了储能电池PACK线智能化的发展趋势。

## 关键词

储能电池; PACK线; 智能化

## 1 引言

储能电池产业是新能源领域的风口, 全球新型储能新增储能装机容量在 2023 年创下纪录, 新增装机容量达到 42GW/99GWh, 同比增长 163%/183%, 至 2030 年估计新增装机容量将以 27% 的复合年增长率增长。但由于面向客户众多、需求多样, 储能电池产品型号多, 生产切换频繁, 而现有的新能源电池生产线柔性兼容能力弱、产品切换周期长, 由此导致现有的新能源电池生产线在面对储能电池生产需求时存在着总体利用率低、制造成本快速增加等问题。提高新能源电池生产线的智能化水平是解决当前储能电池生产中小批量、多品种、切换频繁等问题的关键。

## 2 储能电池 PACK 线面临的挑战

PACK 线是新能源电池生产线中非常关键的一环, 其

主要功能就是将多个电芯装配成不同规格的电池模组或电池包, 从而满足不同客户的具体需求。不难看出, PACK 线的智能化水平在很大程度上决定了新能源电池生产线的产品适应能力。因此, 储能电池 PACK 线在储能电池生产过程中也同样面临着巨大的挑战, 主要表现在以下几个方面:

### 2.1 产品的少量多样化

少量多样化的生产是储能电池较动力电池生产最大的不同, 产品周期更短、批量更小、品种更多, 如何柔性、高效地组织储能电池 PACK 线的资源, 生产出所需的储能电池是首先要关注的问题。

### 2.2 快速变化的市场

储能电池 PACK 线需要敏捷地应付变化快速且难以预测的订单式生产。这对执行制造系统的柔性、响应性以及各种动态复杂信息的处理能力提出了更高的要求。

### 2.3 品质与成本的竞争压力

储能电池产业所面临的不仅是国内竞争而且是面对全球各地一流产品的与日俱增的竞争压力, 需要不断提升储能

【作者简介】付文辉(1978), 男, 中国福建宁德人, 本科, 工程师, 从事智能装备研发, 机械设计及其制造研究。

电池的品质及降低其生产成本。

因此,开展储能电池 PACK 线智能执行制造系统研发,实现高兼容、高节拍、高产能、高综合利用率、高设备能力指数的储能电池柔性制造,从而进一步开展提高电池 PACK 执行制造系统的生产效率并且降低储能电池的生产成本。

### 3 PACK 线智能化的关键技术

突破 PACK 线智能化的关键技术是提高储能电池 PACK 线智能水平,实现高兼容、高节拍、高产能、高综合利用率、高设备能力指数的储能电池制造的关键。

#### 3.1 智能化体系架构及其智能生产调度

让储能电池 PACK 线具有“智慧”属性不仅需要通过网络串联众多的控制器、传感器,还需要结合物联网技术将数据传输给上层的制造执行系统,从而提升储能电池 PACK 线的整体智慧水平。储能电池 PACK 线需要在分析生产调度管理现状的基础上,结合 PACK 线在生产计划与作业管理、质量管理、物料管理追溯、设备绩效管理、统计与分析等方面的功能需求,设计相应的 MES 系统基本功能构架,详细分析系统各个功能模块,探讨 MES 系统实施方案及实施保障措施。

储能电池 PACK 线是为了向顾客提供个性化的产品,要求企业能够基于每个顾客的需求做出生产决策,因为如何有效地平衡有限的生产能力和顾客需求之间的差异是 PACK 线生产调度必须解决的问题。生产调度问题是一类非常重要的组合优化问题,进化算法作为一类群体智能优化算法,可以通过一次运行获得多个非支配解,非常适合求解离散的多目标优化问题,并已被广泛应用于求解多目标调度问题<sup>[1-6]</sup>。

#### 3.2 储能电池 PACK 线数字孪生仿真技术

数字孪生技术是目前智能制造研究中较为受到关注的方向之一<sup>[7-9]</sup>。无论是模型理论、机制模式和算法设计等更是其中热点,理论上的研究较多,但是目前从应用层面来看有待进一步提升。

储能电池 PACK 线的生产工艺力学动态性能变化非线性,装配误差随机性强,机理结构复杂,单独采用解析物理模型难以有效获得电池生产工艺的可靠仿真效果。这就需要综合运用电池 PACK 多源异构生产数据集成方法、电池关键生产工艺的机理与数据混合驱动数字孪生模型、电池生产质量的演化与预测方法,揭示电池关键生产工艺参数对生产质量的影响机制,提出面向产品换型时关键工艺参数的快速优化和决策方法,形成多品类储能电池 PACK 线统的数字设计技术体系,解决多规格多品类电池切换生产中的关键工艺参数优化的核心问题,为储能电池 PACK 线提供生产工艺参数决策的理论和依据。

#### 3.3 高精度、高效率的在线视觉智能测量技术

高精度、高效率的在线智能测量技术可大幅度提高产品检测精度和降低在线定位时间,进一步提高储能电池 PACK 线的智能化。机器视觉可通过提取被测物的边缘信息

而获得被测物的几何参数<sup>[10-13]</sup>,基于三维点云数据的三维视觉检测系统通过对 3D 激光线扫相机扫描到的三维点云数据进行处理,可以获取待检测工件的宽度、高度和弧度等信息,从而可以快速准确的检测生产线的生产情况,提高生产效率与正品率。视觉测量通过提取被测物的边缘信息而获得被测物的几何参数,首先提取被测对象的边缘,其定位精度会直接影响最终的测量结果。提取被测对象边缘的精度会直接影响机器视觉最终的测量结果,因此如何提取被测量的边缘、线条等图像特征并进行尺寸精度检测是视觉智能检测的关键。

#### 3.4 3D 飞行激光焊接工艺

激光焊接技术在电池生产领域经过十多年的发展<sup>[14-15]</sup>,由计算机控制的振镜系统可以对激光快速扫描,并可对传统中难以到位的焊接区域进行偏转焊接。传统激光加工系统的主要工作流程与激光飞行焊接系统的主要区别在于传统方案采用“加工—定位”的步进式方案,激光飞行加工采用“连续加工”的方案,因此相较于传统激光加工方式,激光飞行焊接技术的效率明显提高,且可加工幅面也进行了相应的扩展。振镜激光飞行焊接就是一个以机器人和振镜模块组成的移动激光焊接系统,机器人挂载振镜焊接系统能够在移动过程中加工完工件,而无需再静态等待振镜激光出光加工完成后再进行下一次焊接加工。近年来,伴随着二维振镜发展成熟,三维扫描振镜激光焊接技术引入了运动跟踪与补偿算法,完成了机器人系统与振镜系统的运动跟踪与补偿的高度耦合,实现了高效、高精的联动运动,在保证加工质量的前提下大幅度提高了焊接加工效率,从而可大幅度提高储能电池 PACK 线的生产效率。

## 4 储能电池 PACK 线智能化的发展趋势

### 4.1 面向智能制造体系的智能生产调度方法

储能电池 PACK 线是为了向顾客提供个性化的产品,要求企业能够基于每个顾客的需求做出生产决策,因为如何有效地平衡有限的生产能力和顾客需求之间的差异是 PACK 线生产调度必须解决的问题。在按订单生产的生产经营模式下,针对考虑交货期问询、可控加工时间和制造期限的储能电池 PACK 线生多目标产调度问题,以自适应多种群策略为核心思想的新型的多目标进化算法,建立了最小化最迟完成时间和总延迟时间的多目标数学模型,并设计了基于多种群策略的多目标遗传算法进行求解。

### 4.2 多品类电池组数字孪生生产线的建模方法

通过传感器等装置对电池生产车间环境因素、产品型号规格、设备运行信息、电芯尺寸等多源异构数据进行实时采集,构建充分融合物理机制和数据特性的高可靠电池 PACK 关键生产工艺数字孪生模型,发展多源异构数据的高效处理融合技术,揭示机器人生产工艺参数对生产质量的影响机制,解决面向产品快速换型时工艺参数的精准调控和匹

配问题,突破数字孪生工艺参数生成及整线虚拟调试技术在电池 PACK 成组装配、焊接、涂胶、气密测试等关键生产工艺的落地实践与重要工程应用。

#### 4.3 复杂电池制造工艺下的高精度、高效率的在线智能测量技术

视觉测量通过提取被测物的边缘信息而获得被测物的几何参数,提取被测对象的边缘,其定位精度会直接影响最终的测量结果。利用深度学习分算法库提取电池模组被测量的边缘、线条等图像特征并进行尺寸精度检测,利用 3D 成像配合视觉算法的解决方案可以对储能电池表面的缺陷进行精确检测,提升小缺陷关注度,实现对细小缺陷的精确检测。

#### 4.4 高速 3D 飞行激光焊接工艺

由整个焊接过程来看,移动振镜的补偿主要思路为:当获得机械手在移动过程中单位时间内的位移量,将此位移量补偿入振镜图形的插补轨迹表达式中,理论上可使得移动过程中振镜图形轨迹不会因为机械手动态移动而产生图形变形。在进行激光飞行焊接的动态图形补偿前,需要先确定静态振镜焊接图形是否正确,以此来排除静态条件下振镜的本身图形畸变影响。由激光控制软件的基本图元实现原理可知,其轨迹图元的实现将通过插补算法实现而成。引入了运动跟踪与补偿算法,完成了机器人系统与振镜系统的运动跟踪与补偿的高度耦合,实现高效、高精的联动运动,在保证加工质量的前提下大幅度提高激光焊接加工效率。

## 5 结论

储能电池 PACK 生产线作为新能源产业链中的关键一环,正迎来前所未有的发展机遇,智能化已成为储动力电池 PACK 生产线不可逆转的趋势。通过智能化与自动化深度融合,储能电池 PACK 生产线实现了设备间的无缝互联与数据的实时分析,显著提升了生产效率与产品质量,可以满足工商业储能、电网调频等场景的差异化需求。

### 参考文献

- [1] S.Huang, Y.Guo, Q.Wu, S.Zha, L.Song, "Optimization Algorithm of UWB Positioning for Aircraft Assembly Workshop," Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Vol.35,2018, 44-53.
- [2] B.Schleich, N.Anwer, L. Mathieu, S.Wartzack, Shaping the digital twin for design and production engineering, CIRP Annals, Vol.66, 2017, 141-144.
- [3] Y.Zheng, S.Yang, H.Cheng.An application framework of digital twin and its case study, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Vol. 10, 2019, pp. 1141-1153.
- [4] Xu, Z.J.; Xu, D.H.; He, J.; Wang, Q.; Liu, A.H.; Xiao, J.F. (2017). Mixed Integer Programming Formulations for Two-Machine Flow Shop Scheduling with an Availability Constraint. Arabian Journal for Science & Engineering, Vol. 43, No. 3, 1-12. doi: 10.1007/s13369-017-2763-0
- [5] Xuan,H.; Li,B. (2013).Scheduling dynamic hybrid flowshop with serial batching machines. Journal of the Operational Research Society, Vol. 64, No. 6, 825-832. doi: 10.1057/jors.2012.64
- [6] Sun, G.X.; Bin, S. (2018). A new opinion leaders detecting algorithm in multi-relationship online social networks. Multimedia Tools and Applications, Vol. 77, No. 4, 4295-4307.
- [7] 黄佳圣,施佳宏,易扬,许红祥,闫月晖,刘金锋,刘晓军.面向微组单元的数字孪生同步方法及系统实现[J].计算机集成制造系统,2021,27(02):412-422.
- [9] 万峰,邢香园,吴剑锋,赵文浩,王治,陈瑞启.基于数字孪生的卫星总装过程管控系统[J].计算机集成制造系统,2021,27(02): 631-641.
- [10] GENG J. Structured-light 3D surface imaging: atutorial[J]. AdvOpt Photon, 2011, 3(2):128-60.
- [11] DANIEL S 5 RICHARD S. High-accuracy Stereo depth maps using structured light[C]//2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.Proceedings. IEEE, 2003.
- [12] JALKIO JA,KIM R C5 CASE S K .Three dimensional inspection using multistribe structured light[J]. Optical Engineering, 1985, 24(6):966-74
- [13] DAVISON A J .Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera; proceedings of the EEEE International Conference on Computer Vision, F, 2003[C].
- [14] 韩善果, 杨永强, 黄冬林, 王红卫, 振镜激光扫描焊接工艺及其应用[A], 华南理工大学机械与汽车工程学院.
- [15] Xi L, Jin L. Galvanometer scanning technology for laser additive manufacturing[C]//Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. 2017.

# The Development of Near-infrared Spectroscopy Technology in Food Quality Inspection

Bin Zhang

Hebei Institute of Food Inspection, Shijiazhuang, Hebei, 050227, China

## Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIR) is a non-destructive detection technology widely used in the field of food quality identification. It is based on the mechanism of interaction between near-infrared light waves and substances, and deeply analyzes the composition and characteristics of the sample by measuring the spectral information absorbed by the sample. It is highly efficient, accurate and non-destructive in food testing, and has great application potential in food component analysis, processing flow monitoring and storage preservation. With the continuous iteration of testing equipment and the increasing improvement of data processing algorithms, its application scope is constantly expanding. It can comprehensively assess the quality of various foods, and even basic components such as moisture, fat, protein and sugar can be accurately determined. However, although this technology has made significant progress in the field of food testing, it still faces challenges such as large equipment investment and cumbersome data processing procedures. In the future, with continuous technological breakthroughs and innovations, it will surely play a more important role in improving the food quality control system and upgrading the industry.

## Keywords

near infrared spectroscopy; food detection; quality analysis; component determination; technical application

## 近红外光谱技术在食品品质检测中的发展

张斌

河北省食品检验研究院, 中国·河北 石家庄 050227

## 摘要

近红外光谱技术(NIR)是一种在食品品质鉴定领域广泛运用的非破坏性检测技术,它基于近红外光波和物质相互作用的机理,通过测定样品吸收的光谱信息深入分析样品的成分和特性,在食品检测方面高效、精确、无损且在食品组分分析、加工流程监控和储存保鲜方面有很大应用潜力,随着检测设备不断迭代和数据处理算法日益精进其应用范围不断扩大,能全面评估多种食品质量,像水分、脂肪、蛋白质、糖分等基础组分也能精准测定,不过这技术在食品检测领域虽然进步很大,但仍需面对设备投资大、数据处理流程繁琐等挑战,以后随着技术不断突破革新肯定会在完善食品质量控制体系和产业升级中起到更重要的作用。

## 关键词

近红外光谱; 食品检测; 品质分析; 成分测定; 技术应用

## 1 引言

近年来,全球消费者和食品行业日益重视食品安全质量,食品生产和消费需求持续增加使传统食品质量检测手段速度慢、成本高、检测方式受限等短板逐渐暴露出来,所以行业急需更高效、精确、环保的检测技术。近红外光谱技术是一项成熟的无损检测技术,这几年在食品品质鉴定领域表现出色且很受青睐,它通过深入分析样品在近红外光谱区域的吸收特性,快速且无损地得到食品成分构成、含量波动等关键信息,与传统化学分析法相比,近红外光谱技术检测

效率大大提高且更经济、适用范围更广,对各类食品即时分析时,该技术能动态监控食品质量、提升生产效率,保证食品安全可靠和有营养价值,在现代食品工业里,充分挖掘和发挥近红外光谱技术的潜力将成为推动食品行业科技创新和质量提升的关键要素。

## 2 近红外光谱技术概述

近红外光谱技术是一种利用700至2500纳米波长的近红外光谱区域和物质之间独特的交互作用的分析手段,有着非凡潜力,当近红外光线投射到样本表面时,样本里的分子会选择性吸收特定波长光线并产生振动,主要体现在分子化学键像C-H键、N-H键、O-H键等与光波的动态交互上,分子吸收光线形成的光谱图谱像一扇窗,能揭示样本分子结构

【作者简介】张斌(1980-),男,中国河北鹿泉人,硕士,高级工程师,从事食品安全研究。

和成分构成的奥秘，科研人员借助精密光谱仪器，能详细记录样本在不同波长的光吸收强度，深入剖析吸收光谱便可精确判定样本组分和浓度，近红外光谱技术不用对样本进行繁琐预处理且能同时高效检测多种成分，对光谱数据进行数学建模和细致解析就能精准预估样本中的化学成分，在食品品质检测领域，近红外光谱技术因诸多显著优势很受推崇，无损检测特性尤其突出，不破坏样本原有形态就能获取检测数据，避免了传统化学分析方法中的样品损耗问题。

## 3 近红外光谱技术在食品品质检测中的应用领域

### 3.1 食品成分分析

食品成分检测领域里，近红外光谱技术有着卓越的应用潜力，在精密测定样品在近红外光谱区域的吸收特性后，该技术就能准确剖析食品核心组分，如水分、蛋白质、脂肪的含量以及糖分比例等，而且与传统化学分析法相比，近红外光谱法无需繁琐的样品预处理，可直接得到无损又高效的成分数据，从而大大提高检测效率，通过构建科学数学模型，还能对各类食品成分进行多元化、精确化定量分析，特别要指出的是，在规模庞大的食品生产线里，该技术能实时跟踪每一批次产品的成分波动，有力保障产品一致性和品质稳定性。

### 3.2 食品加工过程监控

食品加工流程复杂，产品最终品质受多种物理变化和化学反应共同影响，而近红外光谱技术有独特优势，在自动化监测和即时反馈方面很重要，生产线配备近红外光谱设备后，能动态捕捉食品加工各阶段细微变化，像水分、脂肪、糖分等关键成分含量波动，并且能快速把信息反馈给生产团队，让他们灵活调整参数优化加工流程，就拿烘焙、干燥、发酵这些关键环节来说，近红外光谱技术像精准守护者，实时监测产品水分含量细微变化，指导操作人员适时调节温湿度，防止加工过度或不足，确保成品品质稳定，且在调味料混合制备时，这技术精确度非凡，配料比例微小差异都能发现，有效避免品质瑕疵风险。

### 3.3 食品储存与保鲜检测

保障食品品质与安全，食品存储与保鲜工作是重中之重，由于食品保质期不断延长，传统质量检测手段难以满足迅速且即时检测的要求，所以近红外光谱技术在这一领域的应用日益成为主流，它具有非破坏性分析能力，能够实时追踪食品储存期间的变化，精准测定食品里水分、糖分、脂肪等核心成分的含量，尤其擅长新鲜食材、易变质食品和加工食品的持久监控，例如在水果、蔬菜、肉类产品储存时，它能高效鉴别食品的成熟度、腐烂与否和保鲜状态，评估食品能否食用，此外，它还能监测包装材料对食品的防护效果，确保包装是否真的延缓了食品老化变质进程。

## 4 近红外光谱技术的发展历程

### 4.1 早期发展与应用

近红外光谱技术源于20世纪60年代，那时科学家首次发现它在化学分析方面有很大潜力，刚开始这技术主要用于比较单一的质量控制和化学成分分析且涉及的领域较窄。20世纪70年代，光谱仪器不断改进，近红外光谱技术开始进入农业和食品工业，在测定粮食、水果等农产品的水分、脂肪和蛋白质含量时表现很好，不过当时光谱仪分辨率低，精确识别复杂成分比较难，很多时候得靠人工分析和经验模型帮忙。80年代，光电探测器革新，近红外光谱技术的应用范围不断扩大，在药品和化学品质量控制方面成果显著，这个时候近红外技术慢慢发展起来并逐渐替代传统化学分析方法，成了备受关注的无损检测方法。到了90年代，计算机技术迅猛发展，数据处理能力大大提高，光谱分析的准确性和速度有了很大提升，这就加快了该技术在工业检测领域广泛应用的速度。

### 4.2 现代技术进展

21世纪的大门一迈进去，近红外光谱技术就开启了新征程，其应用范畴和发展态势活力满满前所未见，并且光学组件和传感器技术不断革新使当代近红外光谱仪器分辨率有了质的提升，能够精准捕捉复杂食品和化学成分的微妙差异；得着重提一下，数字化浪潮与计算机技术深度融合让数据处理和光谱解析的速度大大加快了，靠着先进的化学计量学方法，近红外光谱技术瞬间就能完成多组分定量分析这么艰巨的任务；近年来，光谱仪器朝着便携化、多功能化发展的趋势越来越明显，小巧的手持式近红外光谱仪悄悄进入市场且精确度跟实验室级仪器差不多了；市场调研数据表明，2019年全球近红外光谱市场规模接近20亿美元，预计到2025年这个数字会跳到30亿美元，年均增长率超10%相当厉害，这一系列技术革新给近红外光谱技术在食品、制药、农业、环境监测等很多领域广泛应用打下了坚实基础，在食品质量控制和加工监控方面更是非常重要。

### 4.3 未来发展趋势

近红外光谱技术朝着更高精度、更快速、更经济和更智能化的新阶段发展是未来可展望到的，并且随着光学传感器、光源和数据分析技术不断发展变化，近红外光谱仪器会变得更便携、即时响应以应对各类复杂样品的检测需求。到2030年，近红外光谱仪分辨率预计会有质的提升，比现有技术提高5到10倍，从而在多组分分析领域的能力将大大增强，而且大数据和人工智能深度融合能使近红外光谱分析智能化水平上新高度，实现光谱数据自动化高效处理与分析。未来技术发展还会着重拓展多元化应用场景，在环境监测、健康筛查等关键领域有广泛应用潜力，近年来便携式设备发展蓬勃使近红外技术越来越普及，预计会在食品制造、农业管理、环境监测等领域起核心引领作用，若物联网技术

深入应用，近红外光谱技术就和智能设备能无缝对接，成为现代工业和农业生产里高效分析的不可或缺的工具。

## 5 近红外光谱技术在食品品质检测中的挑战与解决方案

### 5.1 精度与准确性问题

近红外光谱技术在食品质量监控领域虽很重要，但在精确度和可靠性提升方面仍是需要跨越的一大技术发展障碍，该技术对外界因素如样本外观、粒度、温度等特别敏感，外界稍有变动就可能影响检测结果精准度，以食品水分含量测定为例，传统近红外光谱设备误差在  $\pm 0.5\%$  到  $\pm 2\%$  之间很常见，部分高端仪器虽能将误差缩至  $\pm 0.1\%$  以下却太贵，制约了其使用，并且由于食品成分复杂，近红外光谱仪进行多组分分析时经常出现基线波动、干扰信号等难题，导致测量精度被削弱，科研人员近年来为解决这些问题引入分辨率更高的光谱设备并加上更精细的校正模型，反复调优数据、剔除背景噪声，分析准确度明显提高，业界权威报告称，因使用优化算法和多变量分析技术，近年来食品成分分析准确性提高，误差率比以前降低 20% 到 30%。

### 5.2 设备成本与技术普及

近红外光谱技术效益卓越但推广不易，设备投资高和技术普及难这两个问题阻碍了其推广。高质量的近红外光谱仪器价格高昂，顶尖设备达好几万美元且维护成本也不低，中小企业无力承担所以在中低端市场难以施展，虽然技术朝着便携化发展但便携式近红外光谱仪相比传统检测工具仍然较贵，在发展中国家更难以普及。2019 年全球市场上高端近红外光谱仪器大多售价在 2 万到 5 万美元，便携式设备约在 5000 到 15000 美元，科研人员和企业为打破成本高且普及低的局面共同研发低成本、高性能的近红外光谱仪器，现在市场上食品行业的便携式设备种类增多且价格越来越亲民，预计未来五年这类设备价格能下降 30% 到 50% 从而让技术更好地普及。

### 5.3 数据处理与分析技术

近红外光谱技术的应用面临另一大难关，那就是数据处理与分析，近红外光谱仪产生的数据海量且噪声和干扰信息特别多，所以对有效处理和精准解读数据的要求就特别高，以前靠线性回归的传统算法分析复杂样本时不行，所以这几年主成分分析（PCA）、偏最小二乘法（PLS）这些更

先进的多变量数据分析方法开始冒头并成为解决这难题的关键，它们能挑出关键信号且减少背景噪声干扰，从而大大提高数据分析的精度和效率，随着大数据技术和机器学习算法不断发展，近红外光谱数据处理能力有了质的提升，有研究表明用机器学习算法优化近红外光谱数据后分析精度能提高 15% 到 20%，不过数据处理仍很复杂且对技术人员的专业素养要求很高，很多厂商为了简化繁琐操作流程推出集成化数据处理软件，从而大大降低了操作的技术门槛，未来数载智能算法不断推广和深入应用，数据处理自动化水平定会提高，近红外光谱技术在食品检测领域的广泛应用也会进一步加速。

## 6 结语

近红外光谱技术是一种高效无损的检测利器，在食品品质鉴定领域表现出色，在食品成分深度剖析、加工流程精密监控和储存保鲜效果评估等关键环节优势明显，虽然在精确度提升、设备成本降低和数据处理优化等方面存在挑战，但技术发展快这些难题正慢慢被解决，硬件设备不断进步便携式光谱仪越来越普及且数据分析手段也不断革新，使得该技术在食品行业的应用越来越广泛深入，未来随着大数据和人工智能技术深度融合，近红外光谱技术可能会更高效智能，从而为食品安全和质量控制提供更精确可靠的保障，这一技术广泛应用会给食品工业发展注入强劲动力，在守护消费者健康、促进食品产业可持续发展方面具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 乔凤康.基于近红外光谱的苹果可溶性固形物含量检测与品种分类研究[D].导师:王祖良;邵晖.西京学院,2025.
- [2] 李蓓蓓,郭军伟,马骥,张诺涵,赵乐,王洪波,刘雨,金哲,李山,刘金霞,王志才,聂聪.近红外光谱分析技术在烟草行业的应用研究进展[J].中国烟草学报,
- [3] 李博,朱莉,姚庆宇,姜洪洋.基于近红外光谱的草莓多品质参数通用预测模型研究[J].现代食品科技,
- [4] 丁大雄,米雪芹,李蓓,张静,王媛玲,唐晓茗,宋小影,潘庆春.功能性近红外光谱成像技术在耳鸣脑功能研究中的应用与展望[J].中华耳科学杂志,2025,23(02):301-304.
- [5] 付灵弟,窦佳轩,应婷婷,尹立勇,唐敏,梁振虎.基于功能性近红外光谱技术的不同阻力系数动静态任务在卒中后康复训练中的研究[J].生物化学与生物物理进展,

# Analysis and countermeasures of frequency converter anti-shake power technology

Weiwei Yue

Hebei Fengmei Coke Chemical Co., Ltd., Handan, Hebei, 056200, China

## Abstract

In modern chemical enterprises, frequency converters, as core control devices, are widely used in various motor drive systems. The "power flicker" phenomenon caused by instantaneous voltage fluctuations in the power grid can lead to incorrect operation and shutdown of frequency converters, further causing interlock interruptions on production lines and even significant impacts on the safety and environmental protection of the entire chemical enterprise. Most current research focuses on hardware redundancy design, while studies on control algorithm optimization and system-level collaborative protection are insufficient. This paper explores a power flicker prevention solution that is both economical and reliable, aiming to enhance the adaptability of industrial equipment to power quality and provide strong technical support for building an intelligent power supply system, with significant economic value and social benefits.

## Keywords

frequency converter; anti-flicker technology; analysis; coping strategy

## 基于变频器防晃电技术的分析与应对策略

岳伟伟

河北峰煤焦化有限公司, 中国·河北 邯郸 056200

## 摘要

在现代化工企业中,变频器作为核心控制设备广泛应用于各类电机驱动系统,因电网电压瞬时波动所引发的“晃电”现象,致使变频器误动停机,进一步引发生产线连锁中断,甚至对整个化工企业安全环保造成重大影响。当下的诸多研究大多把关注点集中在硬件冗余设计方面,而对于控制算法优化以及系统级协同防护相关的研究还不够充分。本文探索既能具备经济性又能拥有可靠性的防晃电解决方案,目的在于帮助工业设备对电能质量的适应能力得以提升,也可以为构建智能供电体系给予技术方面的有力支撑,具有显著的经济价值和社会效益。

## 关键词

变频器; 防晃电技术; 分析; 应对策略

## 1 引言

电力系统运行过程中难以完全避免的电压暂降、短时中断等晃电现象,已成为制约变频器稳定运行的关键因素。现有的防护方案大多依靠增加超级电容、配置不间断电源/双电源切换装置来施行,这些举措尽管能够对短暂供电中断所产生的影响起到一定的缓解,然而却存在诸如成本偏高、维护起来较为复杂等问题。从系统控制这个角度出发去提升变频器自身所具备的抗扰动能力,通过完善供电架构以及控制策略,进而形成多层次防护体系,无疑成为了一个更具实践意义与价值的研究趋向。本文着重围绕变频器防晃电技术所蕴含的内在机理展开深入探讨,对硬件改造与算法优化二者之间所存在的协同作用机制进行剖析,以此来为设备制

造商以及终端用户提供可以信赖的技术选择方案。

## 2 变频器与防晃电技术概述

### 2.1 变频器的定义与工作原理

变频器(Variable-frequency Drive, VFD)是应用变频技术与微电子技术,通过改变电机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。其主要由整流(交流变直流)、滤波、逆变(直流变交流)、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成。变频器靠内部IGBT的开关来调整输出电源的电压和频率,根据电机的实际需要来提供其所需要的电源电压,进而达到节能、调速的目的。当工频交流电输入后,整流部分利用半导体器件的单向导通特性完成交直流转换,随后中间环节通过电容与电感元件对脉动直流电进行滤波稳压,形成稳定的直流母线电压。逆变阶段的核心任务在于采用脉宽调制技术,借助功率开关器件的高速通断将直流电重新解耦为频率与幅值可控的三相交流电。整个能量转

【作者简介】岳伟伟(1983-),男,中国河北邯郸人,硕士,工程师,从事机电管理及自动化应用研究。

换过程始终遵循电磁感应定律与电力电子控制理论，通过闭环算法实时监测电机参数并调整输出波形，从而维持系统在复杂工况下的稳定运行状态。

## 2.2 电网电压波动（晃电）对变频器的影响

电网电压的瞬时波动会在变频器内部引发连锁反应，当输入侧电压出现毫秒级跌落时，直流母线电容的快速放电特性将导致母线电压陡降，这种非正常工况容易使内部控制电路产生逻辑误判，进而触发过压或欠压保护机制强制停机；交流侧电压的相位偏移与幅值震荡则会干扰整流模块的正常换相过程，在功率器件导通时序紊乱的状态下，输入电流呈现非对称畸变特征。反复出现的电压扰动事件将促使电解电容长期处于非稳态充放电循环中，其内部电解质的热损耗效应逐渐累积，最终导致关键储能元件提前失效。电压恢复瞬间的相位突变现象若未得到及时补偿，可能引发电机定子磁场与转子转速间的动态失配，这种暂态过程中的转矩脉动会通过机械传动链向负载端传递，形成难以预测的冲击载荷<sup>[1]</sup>。

## 3 变频器防晃电技术的原理与分类

### 3.1 防晃电技术的原理

电网电压的异常波动触发防晃电机机制时，实时监测单元捕捉到输入电压的瞬态特征后，控制算法立即介入调整PWM调制波的占空比与相位角，这种动态修正能够维持直流母线电压在预设的安全区间内波动。整流侧配置的预充电回路与动态制动单元协同作用，通过调节输入阻抗匹配度缓解电流冲击对功率模块的损伤风险。对于深度电压跌落事件，储能电容与超级电容组成的混合储能系统依据母线电压衰减速率分级释放储备电能，在控制系统尚未触发保护阈值前完成能量补给。电压相位突变引发的谐波干扰则依赖锁相环算法的快速追踪能力，结合坐标变换技术重构三相电压的对称性特征，确保逆变侧输出频率与电机转速的同步精度。多层次防护机制在微秒级时间尺度内形成的闭环控制，既抑制了电压暂降引发的电磁转矩震荡，又避免了传统方案中单纯依赖硬件冗余导致的响应迟滞问题。

### 3.2 常见防晃电技术的分类与特点

在工业电力系统遭遇电压暂降或短时中断的异常工况下，变频器防晃电技术依据能量补偿与控制策略的差异主要形成四类解决方案。动态电压恢复技术依托电力电子装置构建旁路能量通道，当检测到主回路电压跌落时瞬时注入补偿电压，维持直流母线能量供给的连续性。飞轮储能与超级电容组成的混合储能系统通过物理旋转体或电化学元件暂存动能与电能，在电网电压异常期间释放储备能量缓冲负载冲击，其优势在于应对秒级晃电事件时具备更高的能量吞吐效率。基于电机反电势特性的惯性运行控制技术利用变频器内部算法重构虚拟磁场，使电机在断电瞬间依靠机械惯性维持短暂滑行状态，该方式无需额外硬件但对负载转动惯量存在天然依赖性。相位跟踪与频率自整定技术则通过锁相环实时

捕捉电网残余电压的相位信息，在电压恢复瞬间自动调整输出波形与电网保持同步，避免重启过程中产生的电流冲击，此类方法对周期性晃电具有显著适应性但需解决相位突变引发的谐波干扰问题<sup>[2]</sup>。

## 4 变频器防晃电技术的应用策略

### 4.1 优化变频器的供电系统

在现阶段工业场景中，变频器防晃电技术的实际部署呈现出多技术路线并行的格局，动态电压恢复装置已在高精度制造产线的关键设备中形成规模化应用，例如石油化工业针对毫秒级电压跌落普遍采用预充电容与快速切换电路结合的补偿方案，利用电力电子器件的高速响应特性填补瞬时能量缺口。冶金、矿山等重载领域更倾向于采用飞轮储能与超级电容并联的复合式架构，这类系统在应对秒级晃电时可发挥物理储能介质的高功率密度优势，有效缓解大惯性负载停机造成的机械冲击。部分中小型制造企业则侧重软件层面的优化策略，通过在变频器控制算法中嵌入惯性补偿模块，利用电机转子残余动能构建短暂的能量自治状态，这种方案因硬件改造成本较低而在风机、水泵等转动惯量较大的设备中获得推广。当前技术迭代方向正从单一能量补充向多参数协同控制演进，例如将超级电容的瞬态补偿能力与电机参数辨识算法结合，形成针对不同晃电模式的动态防御体系。

### 4.2 采用先进的防晃电装置

在工厂日常运维过程中，维护人员需定期核查变频器供电线路的绝缘性能与连接紧固度，发现电缆表皮龟裂或接线端子氧化迹象立即更换老化部件，避免接触电阻增大引发意外压降。设备工程师可对车间配电柜加装多级电源滤波器，针对电焊机、行车等冲击性负载产生的谐波污染进行源头治理，同时将变频器直流母线电容的均压电阻阻值调整至合理区间，防止电容组因个体差异导致储能效率衰减。对于存在多台变频器并联运行的场景，电气管理员应在变压器二次侧配置隔离稳压装置，采用星三角交错供电方式分散单相接地故障风险，并在各支路设置独立断路器避免故障范围扩散。操作人员每月使用红外热像仪扫描变频器输入输出端子的温升情况，结合历史数据绘制温度变化曲线，当检测点温差超过安全阈值时启动预防性检修流程。技术人员可为关键设备加装具备毫秒级响应的双电源快速切换开关，利用机械连锁机构确保主备电源转换期间变频器不断电，同时升级控制柜散热风扇的启停逻辑，依据环境温度自动调节通风量以维持功率器件工作温度稳定。智能监测系统实时采集电网电压波形并与变频器内部参数进行交叉验证，当识别出电压凹陷或相位偏移特征时触发预警信号，提示值班人员提前切换至稳压模式运行。

### 4.3 软件算法优化与控制策略

工程师需要根据负载特性重新整定变频器PID参数，“参数跟着负载走”正是这个道理，遇到轻载与重载交替工

况时采用模糊控制替代传统比例调节。技术员调试谐波抑制算法时要盯着示波器屏幕观察电流波形，当三次谐波幅值超过基波三分之一时需要调整陷波器中心频率，老厂区电网阻抗大的场合还得补偿相位延迟。设备维护班组升级变频器固件后必须重做自整定程序，特别是转矩观测器参数需要匹配实际传动比，否则会发生电机转速抖动现象。工艺主管协调生产节奏时为变频器设置柔性加减速曲线，搬运易碎品时选择 S 型速度曲线避免急停急启造成机械冲击。自动化部门开发故障预测模型时需采集三个月以上的运行数据，将电流

波动特征与历史晃电记录做相关性分析，训练出提前两秒预警的识别算法。调试工程师在现场测试电压跌落补偿功能时，故意短接三相电源模拟晃电场景，观察矢量控制算法能否在八个周波内重建旋转磁场。维修班长建议新员工随身携带参数备份卡，遇到控制板更换情况时直接导入原有频率-转矩特性曲线，省去重新标定的麻烦。研发团队改进空间矢量调制策略时考虑散热器温度对 IGBT 开关损耗的影响，高温环境下适当降低载波频率防止功率模块过热保护。具体如图 1 所示：

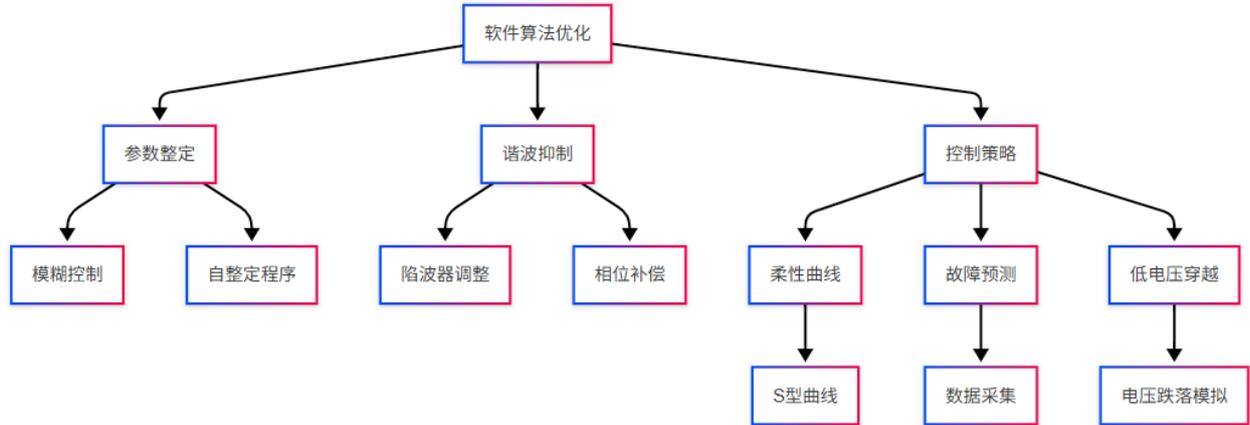


图 1 变频器软件算法优化与控制策略架构图

#### 4.4 系统集成与协同控制策略

在工业生产现场，设备工程师将多台变频器的直流母线并联后接入公共储能单元，设计基于负载优先级的能量调度算法，在电网电压波动时自动分配备用电能，重点保障空压机、冷却泵等核心设备的持续运行。电气管理员为车间不同区域的变频器群配置统一的通信协议，通过 Modbus 或 Profinet 网络实时交换运行状态数据，使中央控制器能根据总负荷变化动态调整各节点输出功率。操作员在交接班时查看电能质量监测仪记录的电压波动历史曲线，结合生产计划预判高负荷时段，提前降低非关键设备的运行频率以留出电压调节裕度。技术人员开发的多变量预测算法可依据电机温度、环境温度及电网谐波含量建立动态模型，当检测到供电线路存在三相不平衡趋势时，自动触发变频器输出电流限制功能防止过载跳闸<sup>[3]</sup>。

### 5 结语

变频器防晃电技术的有效实施离不开硬件改造和智能

控制的深度融合，其中既要确保供电系统的动态补偿能力，更要将控制系统的抗扰动性能提升。对基于母线电压预测的算法进行优化，能够让变频器对晃电的耐受阈值显著增强，而供电回路阻抗匹配设计则可使电压跌落速度得到有效延缓。在设备选型阶段，建议将防晃电功能设计成内置化，借助标准化接口来达成防护装置的模块化扩展。未来，防晃电技术会朝着智能化预判的方向不断演进，通过结合电网状态的感知以及设备运行数据的实时分析，进而形成主动式防护体系。

#### 参考文献

- [1] 冯叶亮,杨帅. 基于变频器防晃电技术的分析与应对策略 [J]. 设备管理与维修, 2017, (08): 139-140. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2017.07.69.
- [2] 焦海平. 变频器防晃电技术探讨 [J]. 电工技术, 2017, (02): 3-4+12.
- [3] 刘玉杰,周博,张玉星. 变频器防晃电改造方案探讨 [J]. 科技信息, 2013, (17): 116-117.

# Analysis on the application of intelligent technology in electrical engineering automation control

Yue Zhang

Xi'an Research Institute Co., Ltd. of China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an, Shaanxi, 710077, China

## Abstract

With the rapid advancement of modern electronic technology, the level of information processing automation has significantly improved, making intelligence an important trend in social evolution. A deep exploration of the intrinsic principles of intelligence not only aids in understanding human cognitive processes but also lays a theoretical foundation for the development of intelligent devices. Introducing intelligent technology into electrical engineering has notably enhanced the automation level of power systems. Looking ahead, the application scope of intelligent technology in power system automation will continue to expand and gradually penetrate more related fields. This technological innovation can effectively address the shortage of specialized talent and significantly improve the efficiency of human resource utilization.

## Keywords

intelligent technology; electrical engineering; automatic control; application

## 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用分析

张悦

中煤科工集团西安研究院有限公司, 中国·陕西 西安 710077

## 摘要

随着现代电子技术的飞速进步, 信息处理自动化水平显著提升, 智能化已成为社会演进的重要趋势。深入探究智能化的内在原理, 不仅有助于理解人类认知过程, 更为智能设备的研发奠定了理论基础。将智能技术引入电气工程领域, 显著提升了电力系统的自动化程度。展望未来, 智能技术在电力系统自动化中的应用范围将持续扩大, 并将逐步渗透至更多相关领域。这一技术革新不仅能有效解决专业人才短缺问题, 还可大幅提升人力资源的使用效率。

## 关键词

智能化技术; 电气工程; 自动化控制; 应用

## 1 引言

智能化技术在电气工程自动化管理领域中的运用有着很大的优越性, 可以提高模型管理的精确性以及电气自动化管理的便捷性, 所以, 需要受到电气业界的高度重视, 并通过合理的运用, 使电气自动化技术的使用效益发挥出来, 从而也提高了电气工程自动化控制与管理的能力。

## 2 智能化技术简述

随着人工智能技术的快速发展, 电气自动化工程正逐渐成为行业关注的焦点。智能科技作为多学科交叉融合的产物, 整合了计算机科学、生物工程、语言处理、自动控制及医疗技术等领域的理论成果, 实现了信息的高效采集、智能分析与精准传输。尤其在高难度工业作业场景中, 自动化控

制系统展现出卓越的技术优势。凭借其突出的实践指导性和应用可靠性, 这项技术在电力系统中的应用范围持续扩大, 不仅显著提升了运营效率, 更为关键数据的精确采集和实时传输提供了坚实保障。

## 3 智能技术的特点分析

### 3.1 提高准确性

在现代科学技术的快速发展中, 智能化技术已经在很多工业领域占据了主导地位, 它所产生的巨大经济效益和社会效益也是毋庸置疑的。在客观上, 智能化技术表现出了较好的性能, 而且精确度也很高。首先, 采用电气工程自动化技术, 可以进一步降低手工操作的数量, 根据电气工程的有关特点和需要, 以及一些特定的系统程序, 进而实现对电气工程自动化的控制工作, 并且对其也不需要人工调节, 而在技术精确度上, 就可以达到较好的综合效果。其次, 要想实现电气工程自动化技术, 就要能够对各类数据、信息进行精确的采集与处理。而在目前的电气运行阶段, 虽然增加了自

【作者简介】张悦(1987-), 女, 中国陕西渭南人, 工程师, 从事供电设计研究。

动化的内容,但也不可能长期维持在一个稳定的水平上,要想持续地提高,就必须在今后的工作中不断地进行革新。从而使信息采集与分析的功能更为精确,这样就能够为电气系统的优化设计提供较好的方案,同时也能进一步降低电气工程的安全隐患。

### 3.2 无人化控制

随着当前的工程进度,很多电气工程都在逐步扩大。若持续采用手工作业,不但要增加人力,而且作业的费用以及复杂度也会持续增加。而运用电气工程自动化技术,使其能够达到真正的无人控制。首先,目前的智能化技术能够实现较好的人机互动,同时它本身的功能也在逐步完善。智能化技术能够在电子控制系统发生故障或者部件受损的情况下,及时作出决定。它能在发出警告的同时,适时地切断电线,也避免问题进一步恶化<sup>[1]</sup>。其次,在实现电气工程自动控制的过程中,我们采用自动化技术可以为电气工程提供更大的保障。比如,多个电器同时工作,会导致电流增大、温度上升、负荷增大。智能化技术将会针对电气工程具体的运行状况而做出相应的调整。最后,减少本身的不安全性,能显著地提高工作的效率和工作品质,为未来的综合发展奠定良好的基础。

### 3.3 无需控制模型

电气工程自动化是现代控制的一种重要手段,但在实际应用中,要使其达到预期的效果,就必须对其进行合理的控制。在智能化技术中,不需要任何控制模式的限制。首先,灵活的智能化技术很关键。它可以完全地与电气工程的特点相结合,不管是局部的应用,还是完全的应用。这样就不会和电气工程自动化控制系统发生冲突。总体而言,该方案的性能可靠,具有很强的可行性研究能力。其次,限制模式在智能化技术研发中的应用被取消,从而促进了智能化技术的应用,并与某些高级技术理念或最佳做法进行了持续的对比。一个好的整合应用能够更好的避免操作中的多种潜在危险,并且对整个国家的建设和电气工业的整合发展起到了很大的作用。最后,通过引入自动化技术,可以强化控制电气工程的自动化规划,从而使电气工程的扩充过程更加紧密,从而进一步强化了电气工程的功能。

## 4 智能化技术在电气工程自动化控制中的现状分析

当前,在推动电气系统可持续发展的进程中,电气工程自动化的应用愈发受到关注。设计环节聚焦电器设备优化,将电气工程设计与专业知识深度融合,有效弥补传统自动化控制的短板,推动电气系统内自动化控制系统技术水平迈上新台阶。随着电子科学技术的迅猛发展,电子领域研究不断深入。通过整合手工设计与计算机技术,并对传统手工产品设计模式,大幅提升了电子产品设计效能,缩短设计研发周期,为提高电子产品生产质量筑牢技术根基。在电气

工程自动化控制领域,高效运用专家系统及配套算法,成为提升智能化技术的关键路径。针对电气工程中常见的电气设备故障,自动化技术可实现故障的有效解决,同时借助神经网络、专用系统等技术对设备故障进行评估,进一步拓展其在电气工程中的应用场景。

## 5 智能化技术应用

### 5.1 模糊逻辑及其控制应用

电气工程自动控制系统中存在着大量的模糊控制器,既可以代替常规的电子控制系统方法,也可以在其它应用领域中获得良好的应用效果。在刚刚起步的时期,模糊控制器主要用作各种数字动力传递控制器中。在实际的应用过程中,模糊控制器大致包括了M和S两大类,而M型控制器也主要用作速度控制器中。这二种控制器虽然都有一个标准库,但对他们的标准界定却都比较严谨。M型控制器的核心架构包含模糊化模块、推理机、知识库及反模糊化模块。其中,模糊化模块主要承担对输入的变量进行量化处理,检测其数值的变化,并将其转换为模糊集合,其运行依赖大量参数支撑。推理机作为控制器的核心组件,通过模拟人类思维逻辑实现判断与推理。知识库由两部分组成:数据库和规则库。知识库以语言控制理论为框架,结合数据库构建而成,为系统决策提供基础支撑。在应用之前,把知识与经验进行了控制与应用,以便构建起运行控制器,并对之加以管理。而在建模时,则要整合模糊控制器和神经网络推理机器,以实现智能化运算的目的<sup>[2]</sup>。

### 5.2 神经网络及其控制应用

将神经网络应用于传动和交流电动机的故障监测,将有助于改善电气系统的技术水平。与传统的梯形相比,神经网络具有更好的逆转波控制效果,不仅可以减少系统的定位周期,而且还可以很好地实现无初始转速和负载扭矩的较大幅度的改变。该系统具有多层次前馈特性,采用传统的逆向学习方法,通过两个子系统,一种通过电动力学参数辨识来实现对转子转速的控制。由于其能对本构系统的非线性特性进行一致性函数估计,在电气驱动控制系统中展现出良好适用性。这种特性体现为高一一致性,无需依赖被控系统的数学模型,同时具备出色的抗干扰性能。另外,由于它是一个并行的体系结构,更适用于多传感器的输入。在神经网络中,由于通常使用的都是错误的逆向传输技术,当存在着大量的隐含节点、隐藏层次和激励函数的情形下,神经网络就可以满足所要求的映射效果,在关于大量隐含节点、层数和激励函数的选取上,也引入了实验方法。

### 5.3 优化设计与故障诊断

电气设备的设计是一个很复杂的过程,其中涉及到很多的知识。在此基础上,将电磁场的有关知识运用到设计中,并运用到与电路、电动机有关的知识。在进行设计的过程中,除了要有课本上的知识外,还要有丰富的经验。在进行产品

设计的过程中,通常都会采用试验与经验相结合的方式,但最终的结果却并不理想。电脑技术的飞速发展,也促使电子产品的设计模式发生了变化,传统手工设计模式正逐步向计算机辅助设计(CAD)转型。借助CAD技术,设计工作可在更短周期内完成,且通过引入仿真验证手段,能显著提升设计质量的可靠性。为进一步改进电子产品的设计,许多学者开始对电气工程应用系统进行研究,从而使电气工程应用系统能够更好地完成产品的设计与制造。虽然在科研上有了一些成绩,但在实际运用上,仍然需要不断地进行。遗传算法是一种具有较高运算精度的高级算法,它在电气系统中有着广泛的应用,因此在电气系统中有着不容忽视的作用。在电气工程自动化中,故障与其信号之间有着复杂的联系,是一种非线性、不确定性的综合运用。如针对现代电气设备的故障诊断技术,其主要有神经网络、模糊逻辑以及专家系统。

#### 5.4 动化控制

在电气系统中,一般都是使用人工来完成对电气工程自动化的管理,而这要花费巨大的人力物力,同时也给工作人员造成了很大的压力,一旦出现了疏忽,将会危及到整个电气系统的正常工作。而智能化技术则代替了大量的人工,从而降低人工成本。例如,在人工智能化技术中的神经网络,就像是人的大脑一样,可以通过计算机的运算来进行高效的运算,从而方便了控制和监视,从而避免了工作量的增长。因此,智能化技术在电气系统的自动控制方面有着重要的意义,也是电气系统持续发展的重要保证。

#### 5.5 PLC技术的应用

随着科学技术水平的日益提升,对电气工程的要求也随之提高,许多大型电气企业的继电控制装置已逐步由PLC(可编程逻辑控制器)替代。采用PLC系统不仅能实现辅助系统的流程化控制,还可对企业整体运行进行协调管理。以电气公司的煤炭传输控制系统为例,其主要由输煤、配煤及辅助控制等子系统构成,系统架构包含现场传感器、主站层系

统与远程I/O站。其中,主站层主要由PLC和人机接口组成,负责数据处理与操作指令下达,而集中控制器层主要是采用自动监测和管理,并通过屏幕监视器和控制器来实现<sup>[1]</sup>。动力系统中采用了PLC技术,可以很高效地完成电气系统的自动开关,并且可以通过软继电器作为实物元器件,使得动力系统的安全和可靠性都获得了极大的提高。

### 6 智能化技术在电气工程自动化中的发展趋势

智能化技术在电气工程自动化项目中的合理利用,将逐渐成为评价电气工程建设项目自动化水平的关键指标,进而促进电气系统运行的高精度、高效率的发挥。将电气工程自动化技术和智能化技术相结合,可为广大客户提供方便、有效的运行功能和系统,同时还可利用计算机菜单、应用窗口等多种功能,提高供电公司在激烈的市场竞争中的地位。伴随自动化技术的持续演进,电气自动化系统正朝着模块化、集成化与网络化方向深度发展,系统的可观测性和透明化程度将不断提升。

### 7 结语

现在的人类社会,已经进入了一个高度智能化的年代,而电气工程自动化在未来将会得到极大的发展,比如智能电饭锅,而无人驾驶汽车也会进入到普通人的日常生活。使人们的日常生活变得越来越简单。而智能化技术的广泛应用,则使得电气工程自动化管理与控制进一步得以实现,也使得电气系统的安全与质量得到改善,从而推动电气工程自动化向健康、环保的方向发展。

#### 参考文献

- [1] 刘艳.智能化技术在电气工程自动化中的应用建议[J].中国金属通报,2019(10):163,165.
- [2] 雷皓.浅析智能化在电气工程中的应用前景[J].中国新通信,2019,21(09):94.
- [3] 宋伟华.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用[J].科技创新与应用,2019(02):170-171.

# Determination of the volatile components from Chengde of *Artemisia argyi* Folium by gas chromatography-mass spectrometry

Xiaoyong Wang<sup>1,2</sup> Li Ma<sup>1,2</sup> Lina Zhao<sup>3\*</sup>

1. Chengde Food and Drug Inspection Institute, Chengde, Hebei, 067000, China

2. Hebei Yanshan Daodi Medicinal Materials Testing and Inspection Innovation Center, Chengde, Hebei, 067000, China

3. Chengde Medical College Affiliated Hospital, Chengde, Hebei, 067000, China

## Abstract

To explore the constituents of volatile components in *Artemisia argyi* folium from different growing environment of Chengde, gas chromatography-mass spectrometry was used to test the volatile components. 5 g *Artemisia argyi* sample was extracted by steam distillation, the relative contents of the components in *Artemisia argyi* were calculated using peak area normalization method. The result showed that the types of compound in *Artemisia argyi* were similar in five habitats, the type of compound in sample No.4 was the lowest. In addition, *Artemisia argyi* contains thirty-five components such as alcohols, alkenes, esters, alkanes and ketone. Among the rest, thirty-two kinds were common components and another three kinds were the specific components of the area. The main volatile components of *Artemisia argyi* were the eucalyptol, 4-pineterol,  $\alpha$ -caryophyllene, decahydrodimethylvinaphthol, camphor and d-bornol. The relative contents of volatile components had obvious differences from various resources. The volatile components of *Artemisia argyi* from different areas were analyzed and compared to provide reference for quality control and clinical application of *Artemisia argyi*.

## Keywords

gas chromatography-mass spectrometry; *Artemisia argyi*; volatile components.

## 气相色谱—串联质谱法测定不同生长环境下艾叶挥发性成分

王小永<sup>1,2</sup> 马丽<sup>1,2</sup> 赵丽娜<sup>3\*</sup>

1. 承德市食品药品检验检测中心, 中国·河北承德 067000

2. 河北省燕山道地药材检验检测创新中心, 中国·河北承德 067000

3. 承德医学院附属医院, 中国·河北承德 067000

## 摘要

为探究承德地区不同生长环境艾叶的挥发性成分, 建立气相色谱-串联质谱法对承德地区艾叶药材挥发性成分进行测定。称取5g艾叶样品, 采用水蒸气蒸馏方法提取艾叶挥发性成分, 利用面积归一化法计算各成分的相对含量。结果表明承德地区5个采收地域艾叶挥发性成分差异较小, 2号艾叶化合物种类最少。采收艾叶中共鉴定醇、烯烃、酯、酮、萜类等35个化合物, 其中32种是共有成分, 3种是非共有成分, 艾叶主要挥发性成分为桉油精、4-品萜醇、 $\alpha$ -石竹烯、十氢二甲基乙烯基萜酚、樟脑、右旋龙脑等, 各挥发性成分相对含量存在一定地域性差异。分析比较承德地区艾叶挥发性成分差异, 为艾叶药材的质量控制和临床应用提供参考。

## 关键词

气相色谱—串联质谱; 艾叶; 挥发性成分

## 1 引言

艾叶为菊科植物艾的干燥叶, 现收载于《中国药典》

【基金项目】承德市科技局项目, 项目编号: 202402A106。

【作者简介】王小永(1982-), 男, 中国河北承德人, 本科, 高级工程师, 从事食品药品检验研究。

【通讯作者】赵丽娜(1984-), 女, 中国辽宁铁岭人, 本科, 药师, 从事药品管理研究。

艾叶用于吐血, 衄血, 崩漏, 月经过多, 胎漏下血, 少腹冷痛, 经寒不调, 宫冷不孕等症<sup>[1]</sup>。

现代研究表明, 艾叶的化学成分可以分为挥发性成分和非挥发性成分, 非挥发性成分主要含绿原酸、二咖啡酰奎宁酸、异泽兰黄素等, 具有抗氧化、抗炎和抗真菌等作用<sup>[2-3]</sup>。挥发性成分是艾叶的主要药理活性成分和质量控制指标之一, 艾草生长范围极为广泛, 主产于山东、安徽、湖北、河北, 其中以湖北蕪州艾草药性最佳<sup>[4]</sup>。河北承德地区多为野生艾草, 为了进一步研究采摘于承德同一季节不同地域的艾叶挥

发性成分,本文采用水蒸气蒸馏法提取承德地区艾叶中挥发性成分,利用气相色谱-串联质谱技术(GC-MS)测定,采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量,为承德地区艾叶进一步开发利用提供基础研究数据。

## 2 仪器与试剂

### 2.1 仪器

GC2030/TQ8040 型气相色谱-质谱联用仪(日本岛津公司);XS105 型电子分析天平(梅特勒-托利多公司,感量为 0.01mg)。

### 2.2 试剂

收集承德市不同县区野生艾叶药材样品:共 5 批,经鉴定为菊科植物艾的干燥叶。样品编号为 S1~S5。

## 3 方法

### 3.1 实验条件

#### 3.1.1 气相色谱条件

色谱柱:岛津 HP-5MS 型毛细管柱(30m×0.25mm, 0.25 $\mu$ m);载气:高纯氦气(纯度 $\geq$ 99.999%);流速:1.0mL/min;进样口温度:250 $^{\circ}$ C;进样体积:1 $\mu$ l;进样方式:分流比 20:1;升温程序:起始温度 60 $^{\circ}$ C、保持 5min,以 2 $^{\circ}$ C/min 的速率升至 130 $^{\circ}$ C、保持 5min,以 5 $^{\circ}$ C/min 的速率升至 180 $^{\circ}$ C、保持 10min。

#### 3.1.2 质谱条件

接口温度:220 $^{\circ}$ C;电离方式:电子轰击源(EI);电离能量:70eV;离子源温度:220 $^{\circ}$ C;溶剂延迟:4min;数据扫描模式:全扫描;扫描范围质荷比(m/z):55~550。

### 3.2 溶液制备

取艾叶适量,剪碎成约 0.5cm 的碎片,取约 5g,精密称定,置圆底烧瓶中,加水 500ml,静置过夜,连接挥发油提取器,从测定器上端加水使充满刻度部分,并溢流入烧瓶时为止,再加乙酸乙酯 2ml,连接回流冷凝管。加热至沸腾,保持微沸 2 小时,放冷,分取乙酸乙酯液,加入少量无水硫酸钠,静置,然后精密量取乙酸乙酯液 1ml 置 10ml 量瓶中,用乙酸乙酯稀释至刻度,摇匀,0.22 $\mu$ m 滤膜滤过。

## 4 结果与讨论

### 4.1 气相色谱条件优化

升温程序的优化以 60 $^{\circ}$ C 为起始温度,首先,比较两种升温程序对分离度的影响,第一组以 5 $^{\circ}$ C/min 速率升高到 180 $^{\circ}$ C,第二组以 2 $^{\circ}$ C/min 速率升高到 130 $^{\circ}$ C,保持 5min 后再 5 $^{\circ}$ C/min 速率升高到 180 $^{\circ}$ C,测定的艾叶样品中低沸点挥发性化合物较多,以 5 $^{\circ}$ C/min 升温速率升温时,低沸点的挥发性成分出峰较快,但是分离度较差,将升温速率降至 2 $^{\circ}$ C/min,各组分分离度提高,各成分干扰较小,满足面积

归一化定量方法的要求,因此确定升温程序为以 2 $^{\circ}$ C/min 速率升高到 130 $^{\circ}$ C,保持 5min 后再 5 $^{\circ}$ C/min 速率升高到 180 $^{\circ}$ C。其次,确定升温程序的最高使用温度,比较在 180 $^{\circ}$ C 和 270 $^{\circ}$ C 下色谱图中峰的种类和分离度,随着温度的升高,色谱峰数量未明显增多,考虑分析时间等综合因素,确定最高使用温度为 180 $^{\circ}$ C。

### 4.2 样品溶液制备方法的优化

在艾叶样品溶液制备中,考查加热回流 1h、2h、3h、4h 的提取效果,结果发现 2h 提取挥发性成分种类多于 1h,再增加回流时间,色谱峰的数量不再增加,确定回流提取时间为 2h。在分取的乙酸乙酯液加少量无水硫酸钠除去水分,减小仪器分析时干扰。

### 4.3 艾叶挥发性成分定量方法

艾叶样品溶液总离子流色谱图,利用 NIST20 谱库检索,共鉴定出 35 种挥发性成分,主要为醇类、单萜烯类、倍半萜烯类等,由于市场未全部提供已知成分的对照品,为分析承德地区艾叶挥发性成分,采用面积归一化法计算各挥发性成分的相对百分含量。

### 4.4 不同县区艾叶挥发性成分对比分析

采用气相色谱-串联质谱法对艾叶药材挥发性成分进行测定,图 1 为艾叶样品挥发油总离子流色谱图,5 个批次艾叶药材共鉴定出挥发性成分 35 种,其中 S1~S5 中分别鉴定出 34、33、34、34、34 个化合物,相对百分含量总和分别为 96.9%、97.2%、98.2%、98.5% 和 97.7%。

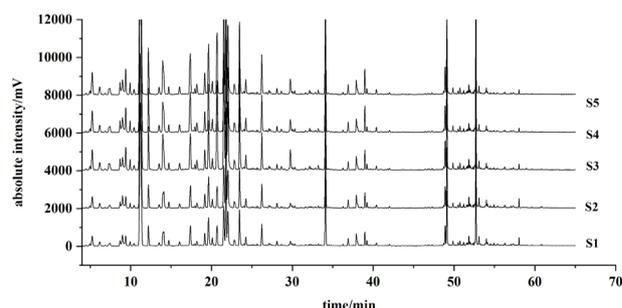


图 1 承德地区艾叶样品挥发油总离子流图

表 1 为 5 批次艾叶挥发性成分相对含量测定结果,艾叶中相对含量较高的挥发性成分为桉油精、4-品萜醇、 $\alpha$ -石竹烯、十氢二甲基乙烯基萘酚、樟脑和右旋龙脑,35 种挥发性成分中,有 32 种是艾叶共有成分,挥发性成分种类差异不明显,但挥发性组分的相对百分含量有一定差异性,其中酚类、酮类和酯类化合物相对百分含量综合差异较大,醇类化合物和单萜类化合物相对含量差异较小。艾叶挥发性成分中,单萜化合物相对含量最大,其次是醇类和倍半萜类,酯类最小。

表 1 5 个艾叶挥发性成分鉴定及相对含量测定结果

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%					分类
				S1	S2	S3	S4	S5	
1	5.24	α-蒎烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.10	1.19	1.29	1.46	1.44	单萜
2	6.16	坎烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.63	0.58	0.61	0.52	0.62	单萜
3	8.69	蘑菇醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.28	0.30	0.34	0.37	0.37	醇类
4	8.99	蒿属酮	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.88	0.96	0.44	0.59	0.54	酮类
5	9.39	异松油烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.75	0.84	1.08	1.22	1.21	单萜
6	9.93	柠檬烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.27	0.34	0.45	0.53	0.53	单萜
7	11.18	桉油精	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	25.88	26.92	28.43	29.32	28.79	单萜
8	12.20	γ-松油烯	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.90	2.04	2.27	2.41	2.37	单萜
9	14.08	蒿属醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	2.88	3.00	3.12	3.19	3.13	醇类
10	16.05	水芹烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.48	0.52	0.46	0.54	0.51	单萜
11	17.39	侧柏醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	2.40	2.51	2.66	3.18	3.07	醇类
12	18.19	菊烯酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.49	0.54	0.52	0.61	0.63	酮类
13	19.16	香桉烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.23	1.28	1.10	1.18	1.17	单萜
14	19.62	乙酸松油酯	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	3.38	3.39	3.11	3.28	3.28	酯类
15	20.10	马鞭烯醇	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.91	0.80	0.62	0.85	0.81	醇类
16	20.69	香韦烯酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	2.32	2.34	5.75	3.65	4.27	酮类
17	21.52	右旋龙脑	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	4.88	4.99	8.63	4.80	5.92	单萜
18	21.79	4-品萜醇	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	9.02	8.99	8.88	9.30	9.15	醇类
19	22.03	樟脑	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	4.59	4.38	5.00	4.95	4.85	单萜
20	23.46	α-松油醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	3.72	3.78	3.97	4.15	4.10	醇类
21	24.24	薄荷醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.75	0.73	0.76	0.74	0.69	醇类
22	26.22	香芹醇	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	2.00	2.01	1.92	2.01	1.99	醇类
23	28.09	马鞭草烯酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.43	0.37	0.27	0.31	0.38	酮类
24	29.75	桉醇酸异丁酯	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	-	-	1.03	0.69	0.81	酯类
25	34.10	α-石竹烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	7.46	7.53	4.28	5.76	5.28	倍半萜
26	36.90	红没药烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.70	0.67	0.41	0.55	0.51	倍半萜
27	37.92	丁香酚	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1.11	0.76	0.52	0.72	0.71	酚类
28	38.07	长叶烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.26	-	-	1.35	1.25	倍半萜
29	38.96	香树烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.22	1.22	0.96	--	-	倍半萜
30	39.22	葎草烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.41	0.42	0.25	0.23	0.29	倍半萜
31	40.39	α-榄香烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.22	0.23	0.18	0.23	0.21	倍半萜
32	48.90	桉油烯醇	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.54	1.43	1.11	1.07	1.12	醇类
33	49.11	石竹素	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	4.40	4.10	3.30	3.27	3.55	倍半萜
34	52.71	十氢二甲基乙炔基萘酚	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	7.92	7.52	4.48	4.34	4.17	酚类
35	53.08	桉木醇	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.57	0.55	0.96	0.27	0.21	醇类

注：“-”表示未检出

## 5 结语

本文建立气相色谱-串联质谱法对承德地区野生艾叶挥发性成分进行测定,采用水蒸气蒸馏方法制备样品溶液,消耗有机试剂较少,定量方法采用面积归一化法计算各种挥发性成分的相对百分含量,并结合谱库检索结果,分析化合物种类,结果承德地区野生艾叶主要挥发性成分种类差异较小,相对含量存在一定差异性。对承德地区野生艾叶挥发性成分的测定,可为承德地区艾叶进一步开发利用和质量控制提供参考方法。

## 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S].北京:中国医药科技出版社, 2020:91.
- [2] 曾维艳,陈肖,王洋,等.基于指纹图谱及非挥发性成分定量结合化学模式识别法评价不同产地艾叶质量[J].中草药, 2023, 54(18): 6084-6091.
- [3] 李皓翔,吴梦奇,范卫锋,等.艾叶挥发性成分与非挥发性成分指纹图谱分析[J].中国药师, 2022, 25(11):1952-1957.
- [4] 梅全喜. 蕲艾的研究与应用[M].北京:中国中医药出版社, 2020:1-342.

# A control method of electric charging port cover based on a resistance position sensor

Wu Zhou Yue Huang Guanlin Liu Huijing Li

Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511434, China

## Abstract

With the popularity of electric vehicles, the intelligent design of charging port cover has become an important direction to improve user experience and system reliability. This paper proposes a design scheme of electric charging port cover which can significantly improve the sampling accuracy of resistance sensor and multi-scene control logic, focusing on solving the problems of multi-scene trigger, anti-clip safety and environmental adaptability. The design uses the resistance angle sensor combined with the voltage sampling to calculate the resistance, improves the sampling reliability through the bilateral error redundancy mechanism, and constructs a multi-scenario trigger logic for different use scenarios (such as remote control key, remote control, automatic speed shutdown, etc.). Sampling configuration characters distinguish different models and items, which significantly improve the reusability and platform of the software. In addition, the standardized interface is designed based on SOA (service-oriented architecture), which supports the flexible expansion of charging port cover and vehicle system (such as self-locking in car wash mode and geography-fencing linkage).

## Keywords

Electric vehicle; charging port cover; resistance sensor; SOA architecture; anti-clip control

## 一种基于电阻位置传感器的电动充电口盖控制方法

周武 黄越 刘关林 李慧晶

广州汽车集团股份有限公司, 中国·广东 广州 511434

## 摘要

随着电动汽车的普及, 充电口盖的智能化设计成为提升用户体验和系统可靠性的重要方向。本文提出了一种可显著提高电阻传感器采样精度与多场景控制逻辑的电动充电口盖设计方案, 重点解决多场景触发、防夹安全及环境适应性等问题。设计采用电阻式角度传感器结合电压采样计算电阻, 通过双边误差冗余机制提高采样可靠性, 并针对不同使用场景(如遥控钥匙、远程控制、车速自动关闭等)构建的多场景触发逻辑。采样配置字区分不同的车型和项目, 显著提升软件的复用性和平台性。此外, 基于SOA(服务导向架构)设计标准化接口, 支持充电口盖与整车系统的灵活扩展(如洗车模式自锁、地理围栏联动)。

## 关键词

电动汽车; 充电口盖; 电阻传感器; SOA架构; 防夹控制

## 1 引言

对于电动汽车(EV)和插混汽车(PHEV)的用户来说, 充电的场景是日常用车最常见的场景, 充电口盖的使用频率非常高, 市场上充电口盖的类型有很多种, 详见表 1:

随着电动车智能化程度不断提升, 很多车企都在其高端车型上采用了电动开闭型充电口盖, 以提升产品品质和智能化程度, 电动充电口盖内部有开闭电机和位置传感器, 开闭电机负责驱动口盖的开闭行程动作执行器, 位置传感器负责采集口盖的位置状态, 实现闭环控制。

【作者简介】周武(1982-), 男, 中国广东广州人, 本科, 工程师, 从事汽车电子电器研究。

表 1 充电口盖类型表

充电口盖类型	优点	缺点
机械拉索式	结构简单、成本最低	操作不便, 钢索易生锈
电动解锁式	结构简单、成本较低	操作不便
PushPush	操作便利, 成本一般	不能智能控制
电动开闭型	操作便利, 可自动控制	成本较高

其中电动充电口盖的位置传感器又分为霍尔式和电阻式<sup>[1]</sup>, 霍尔式是通过电机运行时产生的霍尔脉冲信号进行计数加减来计算口盖的位置, 但如果用户人为掰动口盖会导致霍尔计数器错乱, 引起位置丢失, 所以一般霍尔式用于可锁止的运行机构, 如车窗电机等; 而电阻式位置传感器是电阻/位置曲线, 具有绝对位置-阻止的映射关系, 能有效避免人为掰动导致的位置丢失的问题, 是电动充电口盖位置传感器的优选方案。

## 2 电阻采样方式

电阻式位置传感器的原理是在口盖内部设计一个滑动变阻器，其电阻大小与开启角度呈线性比例关系，但其缺点是易受温度、环境、以及批次等影响，电阻值会出现偏差。设计输入的电阻值的公差是  $\pm 5\%$ ，位置公差是  $\pm 1\%$ ，位置-电阻曲线如下图 1：

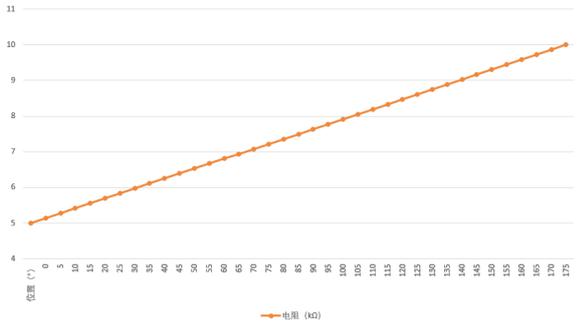


图 1 传感器“位置 - 电阻”曲线

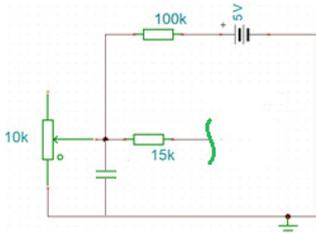


图 2 电流采样计算电阻原理图

按照电流采样计算电阻的采样方式<sup>[2]</sup>，上拉电压设定 5V，上拉电阻 100k，口盖的最大开启角度为  $100^\circ$ ，设计的模拟采样原理如图 2：

口盖全关 ( $0^\circ$ )：

电阻误差为 0 时，计算电压：

$$U_0 = \frac{5}{100+5} \times 5 = 0.25V;$$

电阻误差为 +5% 时，电压最高：

$$U_{0max} = \frac{5}{100+5} \times (5 * 1.05) = 0.263V;$$

电阻误差为 -5% 时，电压最低：

$$U_{0min} = \frac{5}{100+5} \times (5 * 0.95) = 0.238V;$$

口盖全开 ( $100^\circ$ )：

电阻误差为 0 时，计算电压：

$$U_0 = \frac{5}{100+7.778} \times 7.778 = 0.361V;$$

电阻误差为 +5% 时，电压最高：

$$U_{0max} = \frac{5}{100+7.778} \times (7.778 * 1.05) = 0.379V;$$

电阻误差为 -5% 时，电压最低：

$$U_{0min} = \frac{5}{100+7.778} \times (7.778 * 0.95) = 0.343V;$$

从上面的计算结果可以算出，传感器灵敏系数  $k=100/(0.361-0.25) = 900.9^\circ/V$ ，而传感器公差引起的电压偏差

为  $0.018V$ ，换算成角度误差可达  $16.2^\circ$ ；

所以采用电流采样计算电阻，会因电阻值的公差导致计算电阻产生最大  $16^\circ$  左右的偏差。

由于电阻传感器实际上是一个均质的滑动变阻器，受温度、环境和批次会影响整个行程的电阻，最理想的方案是采用电压采样计算电阻的方案来消除环境和批次的误差。

## 3 电压采样计算电阻消除误差

电压采样计算电阻方案<sup>[3]</sup>，是将 5V 电源作用在传感器的全行程，再从位置信号脚位采集电压，从而消除了温度、批次等影响导致的电压采样偏差，采样原理图见图 3：

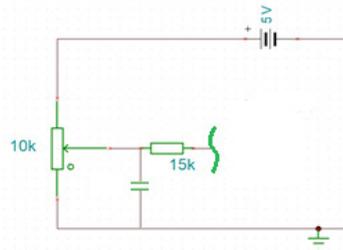


图 3 电压采样计算电阻原理图

口盖全关 ( $0^\circ$ )：

位置误差为 0 时，计算电压：

$$U_0 = 5/10 * 5 = 2.5(V);$$

位置误差为 -1% 时，电压最低：

$$U_{0min} = 4.972/10 * 5 = 2.486(V);$$

位置误差为 +1% 时，最高电压：

$$U_{0max} = 5.028/10 * 5 = 2.514(V);$$

口盖全开 ( $100^\circ$ )：

位置误差为 0 时，计算电压：

$$U_{100} = 7.778/10 * 5 = 3.889(V);$$

位置误差为 -1% 时，最低电压：

$$U_{100min} = 7.75/10 * 5 = 3.875(V);$$

位置误差为 +1% 时，最高电压：

$$U_{100max} = 7.806/10 * 5 = 3.903(V);$$

系统设计时，在关闭时应将传感器出现正误差时作为关闭位置的电压，所以取  $U_{0max} = 2.514V$  作为软件设定的关闭位置 ( $0^\circ$ )；同样，取  $U_{100min} = 3.875V$  作为软件设定的全开位置 ( $100^\circ$ )，软件的角度计算公式为：

$$\theta = (U_{测} - U_{0max}) * k$$

$$U_{0max} : \text{基准电压, } U_{0max} = 2.514 (V)$$

$$k : \text{传感器灵敏系数, } k = 100/(3.875 - 2.514) = 73.48 (^\circ/V)$$

同时，为了防止关闭时传感器位置负误差导致口盖无法完全关闭，采用延时关闭驱动的方案，延时参数的如下方式计算取得：

口盖的整体驱动时间大致为 3s，运行速度大约为  $33^\circ/s$ ，延时驱动需要覆盖位置公差的  $\pm 1\%$  的行程，即覆盖  $2^\circ$  的行程，考虑到一些冗余量，将延时驱动时间确定为 100ms，

既能保证口盖能打开关闭到位，也能避免因过长的延时驱动导致堵转产生电机噪音。

### 4 提高系统兼容性

考虑到口盖的型式不同，开启的行程角度会有差异，所以为了适配不同车型，将开启角度 100° 作为可配置参数“PowerFillerCapAngle”；另外口盖还存在关闭后是否有锁止机构的差异，也将是否有锁止结构作为可配置参数“PowerFillerCapLockCfg”，支持 UDS 诊断写入，配置参数如表 2：

表 2 充电口盖配置参数表

参数名称	参数值定义	读写属性
PowerFillerCapAngleCfg	Linear: resolution:1° per bit - offset: 0	R/W
	0x00=Absent 0x01=Present	R/W

由于口盖的电压与角度的计算公式为：

$$U_{测} = \theta /k + U_{0max}$$

所以全关  $\theta = 0$  时对应电压  $U_{0max} = 2.514$  (V)；全开时  $\theta = \text{PowerFillerCapAngleCfg}$  时对应电压  $U_{100min} = \text{PowerFillerCapAngleCfg} / 73.48 + 2.514$  (V)；

再根据口盖是否为带锁止结构，关闭后的延时驱动时间配置为 100ms 或 500ms，其中 400ms 为驱动锁止电机运行的时间。

针对不同的项目或车型，在车辆下线时，下线设备会根据车型的实际情况，通过 UDS<sup>[4]</sup> (Unified Diagnostic Services) 写入“PowerFillerCapAngle”和“PowerFillerCapLockCfg”的实际参数值，软件根据不同的配置参数进行驱动，具体逻辑如下：

当 PowerFillerCapLockCfg==Absent 时，ZCU 执行电动加注口开闭动作。

动作指令	锁动作	
NoAction	不驱动	0=NoAction
Close	驱动关闭，直至 $U_{测} = 2.514V$ 再驱动 100ms 停止	1=Closing
	驱动打开，直至 $U_{测} = \text{PowerFillerCapAngleCfg} / 73.48 + 2.514V$ 再驱动 100ms 停止	2=Opening

当 PowerFillerCapLockCfg== Present 时，ZCU 执行电动加注口开闭动作。

动作指令	锁动作	
NoAction	不驱动	0=NoAction
Close	驱动关闭，直至 $U_{测} = 2.514V$ 再驱动 100ms 停止	1=Closing
	驱动打开，直至 $U_{测} = \text{PowerFillerCapAngleCfg} / 73.48 + 2.514V$ 再驱动 500ms 停止	2=Opening

通过以上配置参数，就可以兼容不同项目和车型的口盖，实现软件平台化和通用化，大大提高软件的复用性，减少软件开发周期，提升开发效率。

### 5 控制逻辑

在进行电动充电口盖的功能开发时，经过与需求沟通，市场的对标以及从场景触发进行正向分析，电动充电口盖的功能如下<sup>[5]</sup>：

1. 主机（中控大屏）打开 / 关闭电动充电口盖；
2. 车外开关打开 / 关闭电动充电口盖；
3. 遥控钥匙打开 / 关闭电动充电口盖；
4. 充电桩打开 / 关闭电动充电口盖；
5. 远程打开 / 关闭电动充电口盖；
6. 随车辆闭锁自动关闭电动充电口盖；
7. 随车速自动关闭电动充电口盖；
8. 随动关闭 / 打开电动充电口盖；
9. 电动充电口盖防夹 [6]；
10. 电动充电口盖服务化；

### 6 总结

本文提出了一种基于电阻位置传感器的电动充电口盖控制方法，以适应现代汽车电动化、智能化的发展趋势。通过引入逻辑算法优化，提高了测量的可靠性。结合多样化的触发条件和防夹保护机制，不仅提高了安全性，还极大地优化了用户的操作体验。此外，采用了 SOA 架构实现功能扩展性，能够更方便地集成新功能和服务，符合当前汽车智能化发展的长远需求。本文研究涉及到电动充电口盖的类型选择、选型依据、采样原理分析、方案优化设计以及功能场景适配等多个方面，通过对这些关键环节的比较全面的分析和论证，形成了一套系统化的设计方案。该方案在实际量产车型上得到了应用验证，经过严格的测试和市场反馈收集，证明其在性能、安全性和用户体验等方面均达到了预期目标，并取得了良好的市场效果，为汽车电动化、智能化发展提供了有力支持。

### 参考文献

- [1] 范宝琦.汽车电器电量采集系统研究[D].吉林大学, 2011. DOI:CNKI:CDMD:2.1011.099077
- [2] 陈小波,胡育文,黄文新,等.基于单电阻电流采样的矢量控制算法研究[J].电气传动, 2011, 41(5):5. DOI:10.3969/j.issn.1001-2095.2011.05.004.
- [3] 刘立毅,宋树杰.伏安法测电阻系统误差的消除方法[J].物理教学探讨:中学教学教研专辑, 2009.
- [4] 黄丽芳.UDS诊断服务在车载ECU中的应用分析[J].汽车电器, 2012(6):4. DOI:10.3969/j.issn.1003-8639.2012.06.021.
- [5] 王聪,杨志刚,林祥辉.电动充电口盖产品定义及开发[J]. 2024.
- [6] 赵宇,付国龙.防夹式车用电动充电口盖:202321448503[P][2025-03-11].