

# 化工企业抗晃电技术措施分析与应用

李友吉

金华永和氟化工有限公司, 浙江 金华 321075

**[摘要]** 化工生产作为连续化流程工业, 对供电系统稳定性具有极高敏感性。本论文针对晃电导致的设备停机、机械损伤及安全风险等突出问题, 系统解析其作用机理与危害路径, 提出多维度抗晃电技术体系。通过动态电压恢复装置实现毫秒级电压补偿, 优化双电源切换逻辑提升供电连续性, 改进接触器与变频器耐受阈值增强设备抗扰能力, 并重构继电保护定值策略。进一步建立设备分级防护模型与电网结构优化方案, 结合数字孪生仿真验证技术经济性, 形成“预防-耐受-恢复”三级防御架构。研究成果为化工企业构建电力韧性系统提供理论支撑, 对保障生产安全、降低非计划停工损失具有重要工程价值。

**[关键词]** 化工生产; 晃电; 电压暂降; 抗晃电技术; 供电可靠性

DOI: 10.33142/hst.v8i4.16065

中图分类号: TM7

文献标识码: A

## Analysis and Application of Anti Shake Electrical Technology Measures in Chemical Enterprises

LI Youji

Jinhua Yonghe Fluorine Chemical Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321075, China

**Abstract:** As a continuous process industry, chemical production is highly sensitive to the stability of the power supply system. This paper aims to address prominent issues such as equipment shutdown, mechanical damage, and safety risks caused by electric shock. It systematically analyzes the mechanism of action and hazard paths, and proposes a multidimensional anti electric shock technology system. By using a dynamic voltage recovery device to achieve millisecond level voltage compensation, optimizing the dual power switching logic to improve power supply continuity, improving the withstand threshold of contactors and frequency converters to enhance equipment anti-interference ability, and reconstructing the relay protection setting strategy. Further establish a hierarchical protection model for equipment and an optimization plan for power grid structure, combined with digital twin simulation to verify the technical and economic feasibility, forming a three-level defense architecture of "prevention tolerance recovery". The research results provide theoretical support for the construction of power resilience systems in chemical enterprises, and have important engineering value in ensuring production safety and reducing unplanned shutdown losses.

**Keywords:** chemical production; shaking electricity; voltage sag; anti shake technology; power supply reliability

### 引言

现代化工装置高度依赖电气设备的连续稳定运行, 其生产工艺的强关联性使得局部供电扰动可能引发全局性生产中断。晃电作为电网常见暂态现象, 因雷击、短路等事件引发的瞬时电压波动, 已成为威胁化工安全生产的隐形杀手。传统保护装置往往基于稳态故障设计, 对持续时间短、幅值变化快的电压暂降缺乏有效应对机制, 导致关键机组非计划停机、控制系统逻辑紊乱等连锁反应。近年来, 随着化工装置大型化与控制智能化发展, 设备对电能质量敏感性显著提升, 而现有抗晃电措施存在防护碎片化、响应滞后等问题, 难以满足复杂工况下的防护需求。本文立足化工生产特性, 通过机理分析与技术集成, 探索覆盖电源侧、设备侧、系统侧的全方位防护体系, 致力于破解瞬时电压扰动引发的生产失控难题, 为行业供电可靠性提升提供新的解决思路。

### 1 晃电概述

晃电是电力系统运行中因外部环境干扰或内部故障

引起的瞬时电压异常现象, 主要表现为电压幅值的短时下降或供电中断。其成因复杂多样, 常见诱因包括雷击放电、输电线路短路故障、大容量负载突然投切以及电网设备操作过电压等。从时间尺度来看, 晃电事件持续时间通常介于 0.01 秒至数秒之间, 其中对化工生产影响最显著的是持续 0.1~30 个工频周波的中短时电压扰动。电压波动幅度可覆盖额定电压的 10%~90%, 严重时甚至出现完全断电。这种现象具有三个显著特征: 一是瞬时性, 虽然持续时间短暂, 但能量冲击可能引发设备保护装置误动作; 二是随机性, 受气象条件、设备状态等多因素影响, 其发生时间、频次及严重程度难以精准预判; 三是区域性, 故障影响范围与电网架构密切相关, 通常呈现以故障点为中心向外辐射的传播特性。这种电压暂态过程对连续生产的工业体系构成严重威胁, 尤其在电能质量敏感度高的化工领域更为突出。

### 2 晃电对化工生产企业的影响分析

#### 2.1 电气设备停止运行

在电力系统稳定运行的情况下, 供电电压波动较小,

能够保证设备的正常运作。然而,一旦电网发生晃电现象,电压骤然降低,可能引发一系列设备故障<sup>[1]</sup>。例如,低压进线断路器的低电压保护会动作跳闸,同时,软启动器、变频器等低压设备也可能因电压骤降而停止运行。此外,电动机的有功功率会随电压下降明显减弱,导致电动机控制电路中的接触器、继电器因电磁铁释放而断开,进而引发生产装置中的大量电动机停机,甚至导致整个装置停工,严重影响生产进度。

## 2.2 机械设备损坏

在化工生产过程中,晃电不仅可能导致设备跳闸,还可能对运行中的机组造成损坏。关键机组设备如汽轮机、高压锅炉给水泵、压缩机、增压机等,均对电压稳定性有较高要求。当电网电压波动剧烈时,这些设备可能因突发电力异常而遭受冲击,导致机组停运或出现机械损坏,从而影响整体生产的安全性和稳定性。

## 2.3 控制系统失效

现代化工装置高度依赖分布式控制系统、可编程逻辑控制器等自动化设备实现工艺管控。当发生晃电时,控制柜内电源模块的瞬时失电会造成以下连锁反应:首先,CPU模块供电中断导致控制程序异常终止,部分未配置掉电保持功能的寄存器数据丢失;其次,现场仪表信号传输出现中断或畸变,例如科氏力质量流量计的输出脉冲信号可能因电源扰动产生计数偏差;再次,气动调节阀的定位器因供电异常进入故障安全位置,打破原有工艺参数平衡。更严重的是,某些冗余架构不足的控制系統可能在电压恢复后陷入“死机”状态,需人工干预重启,极大延缓生产恢复进程。此类控制失效可能引发反应温度失控、物料配比错误等工艺事故。

## 2.4 次生安全风险

电压暂降引发的设备异常可能突破化工装置的安全防护边界。在聚合反应体系中,搅拌装置的突然停转会导导致反应物料局部过热,若温度超过引发剂分解临界点,可能触发失控反应。蒸馏塔系统因再沸器热源中断产生的气液两相流逆转,可能造成塔板结构损伤。气体压缩机组非正常停机时,未及时泄放的高压气体可能通过逆止阀泄漏至上游管道,形成超压危险。此外,安全仪表系统若未配备独立于DCS的应急电源,其安全联锁功能可能在主电源晃电时失效,无法执行紧急切断、泄压等保护动作,大幅提升事故升级概率。这些次生风险的存在使得晃电不仅是电能质量问题,更直接关系到化工装置的本质安全水平。

# 3 抗晃电技术措施应用

## 3.1 动态电压恢复技术

动态电压恢复技术通过实时监测电网电压波形,在检测到电压暂降或中断时,利用储能单元快速注入补偿电压,维持负载侧供电连续性。其核心在于采用串联型拓扑结构,将补偿装置接入供电回路与敏感设备之间,通过逆变器生

成与系统缺失电压幅值相等、相位相反的补偿量,实现电压凹陷的精准修复<sup>[2]</sup>。关键技术突破体现在故障检测与响应速度上,基于dq坐标变换的算法可快速分离电压正序分量,在半个工频周期内完成扰动识别与补偿指令生成。超级电容与飞轮储能系统的组合应用,既能满足毫秒级功率支撑需求,又可提供数秒级能量缓冲,特别适用于大型电动机、精密控制系统的保护。工程实践中,DVR需根据负载特性定制滤波电路参数,避免高频谐波对化工仪表造成二次干扰。在化工装置密集区域,DVR需与现有配电系统进行阻抗匹配设计,防止补偿过程中引发谐振现象。此外,多台DVR并联运行时需配置主从控制策略,通过CAN总线通信实现功率均衡分配,避免单机过载导致的整体失效风险。对于多电平逆变拓扑结构,需优化载波移相策略以降低开关损耗,同时采用冗余设计提升系统容错能力,确保极端工况下的持续稳定运行。

## 3.2 双电源快速切换系统

双电源快速切换系统的核心功能是在主供电源发生晃电时,无缝切换至备用电源,最大限度减少供电中断时间。先进切换装置集成同期检测模块,通过实时比对两路电源的电压幅值、频率与相位角差异,在残压衰减至临界值前完成闭锁判断。残压闭锁策略可防止母线残压与备用电源电压叠加引发过电流,频差闭锁机制则避免不同步合闸造成的机械冲击。对于化工企业重要负荷,切换过程需控制在300毫秒以内,确保接触器保持线圈不致释放。实施过程中需特别注意备用电源的容量匹配与短路电流承受能力评估,防止切换后发生级联故障。针对石化装置中广泛存在的感性负载,切换装置需配置涌流抑制模块,采用预充电电阻或磁饱和电抗器限制合闸瞬间的励磁涌流。在具有多路备用电源的复杂系统中,应建立优先级切换逻辑,优先选择电压稳定性高、谐波含量低的电源路径。对于微电网并网系统,切换逻辑需与孤岛保护协同工作,通过频率斜率检测预判电网状态,实现并离网模式的无缝过渡。

## 3.3 抗晃电接触器优化

传统接触器在电压跌落至65%额定值时即可能脱扣,通过改进电磁机构磁路设计与线圈绕制工艺,可将维持电压阈值降低至50%以下。新型抗晃电接触器采用双绕组结构,启动绕组与保持绕组独立配置,在吸合后自动切换至低功耗维持模式<sup>[3]</sup>。集成式延时脱扣模块通过电子电路实现时间可调的保护逻辑,在检测到电压暂降时启动计时,仅在持续超限后才执行分断操作。此类改造可显著提升电动机控制回路的晃电耐受能力,避免因瞬时扰动导致的生产中断。实际应用中需配合热继电器参数调整,防止延时特性与过载保护发生冲突。对于存在机械振动或环境温湿度波动的现场,接触器需采用防震支架与密封设计,确保电磁机构动作可靠性。在化工腐蚀性环境中,触点材料应选用银镍合金或镀金工艺,降低接触电阻的同时增强抗硫

化能力。针对频繁操作的工况,可引入真空灭弧室技术替代传统空气触点,减少电弧侵蚀对接触器寿命的影响。

### 3.4 变频器耐受性提升

变频器抗晃电能力提升需从硬件加固与控制策略优化两方面着手。在直流母线侧并联大容量储能电容,可延长母线电压维持时间至3个工频周期以上,为控制单元争取故障响应时间。低电压穿越功能的实现依赖于改进的空间矢量调制算法,通过动态调整PWM输出模式,在电网电压跌落期间维持电机磁场定向控制。待机再启动功能通过预存运行参数,在电源恢复后自动执行转速追踪与平滑启动,避免直接重启造成的机械应力。对于多变频器并联系统,还需配置环流抑制电路,防止因个别单元失电导致的能量倒灌现象。在化工流程泵控制中,变频器需增加负载转矩观测器,实时估算机械负载变化量,动态优化电压补偿策略。针对高压变频器,应强化IGBT模块的散热设计,采用双面冷却技术与氮化铝陶瓷基板,确保功率器件在频繁电压波动下的长期可靠性。对于多电机协同驱动系统,需开发主从同步控制算法,通过总线通信实现转矩均衡分配,防止电压暂降引发的负载失衡。

### 3.5 电力系统保护优化

针对晃电特性的保护系统改造需重构传统继电保护逻辑。降低低电压保护动作阈值至65%额定电压以下,并设置0.5~1.5秒延时,可有效规避瞬时扰动引发的误动作。加装专用电压暂降监测装置,通过高精度采样芯片记录扰动事件的幅值、持续时间及波形畸变率,为故障溯源提供数据支撑。建立厂级电能质量数据库,结合SCADA系统实现历史事件的多维度分析,辅助制定预防性维护计划。保护定值整定需考虑与上级电网保护的协同配合,避免出现保护盲区或越级跳闸。在含有分布式能源的化工微电网中,需引入方向性保护元件,准确区分故障电流方向,防止新能源逆变器馈电造成的保护误动。对于接地故障频发的电缆网络,应配置零序电流方向保护与弧光保护双重机制,提升系统对间歇性接地故障的识别精度。在数字化变电站架构下,可部署基于IEC 61850标准的智能电子设备,通过GOOSE报文实现保护信号的快速传输与联动,将故障切除时间缩短至20毫秒以内。

## 4 抗晃电系统化实施策略

### 4.1 设备耐受等级分级管理

化工装置抗晃电防护需遵循差异化原则,依据设备故障后果严重性与工艺恢复成本实施分级管控。A级防护对象聚焦高温高压反应器、聚合釜搅拌系统等核心设备,采用动态电压恢复装置与不间断电源组成冗余供电架构,确保电压暂降期间关键工艺参数不超安全阈值。B级设备涵盖物料输送泵、循环风机等辅助单元,通过快速电源切换装置与抗晃电接触器的组合改造,在保证连续运行的前提下降低改造成本。C级负荷包含非生产性用电设备,配置

智能重启控制器实现电压恢复后的有序投切,避免集中启动造成的二次冲击。分级体系需配套动态评估机制,结合工艺升级定期调整防护等级,并通过HMI人机界面集成设备状态监测、能耗分析及故障预警功能,实现防护效能的实时可视化管控。

### 4.2 电网结构优化

电网拓扑优化是限制晃电传播范围的基础性措施。10kV配电系统采用双母线分段运行模式,通过母联开关的备自投逻辑实现故障区段快速隔离,将电压暂降影响控制在单段母线范围内。动态无功补偿装置的选型需匹配负载特性,静止无功发生器凭借全控型IGBT器件与瞬时响应优势,可在5毫秒内完成无功功率双向调节,有效平抑电压波动<sup>[4]</sup>。针对变频器群组集中区域,设置独立供电母线并加装有源滤波器,抑制谐波对精密仪表的干扰。接地网改造采用网状拓扑结构,强化等电位连接与降阻处理,降低雷击过电压对DCS系统的传导风险。对于存在多电源接入的复杂系统,需优化潮流分布算法,防止电压暂降期间出现功率倒送现象。

### 4.3 全系统仿真验证

基于ETAP/EMTP仿真平台构建企业电网数字孪生模型,通过注入IEEE 1159标准定义的典型电压暂降波形,全面评估防护设备协同效能。暂态稳定性分析重点考察电动机群组再加速过程中的电压崩溃临界点,校验动态无功补偿装置的电压支撑强度。保护配合仿真需模拟母线短路、雷击过电压等多场景故障,优化断路器动作时序与保护定值配合关系,消除越级跳闸隐患。经济性评估模块引入全生命周期成本模型,量化对比不同防护方案的投资成本、运维费用及生产损失,结合蒙特卡洛法进行风险概率测算。仿真结果需通过现场扰动发生装置实验验证,利用录波数据反向修正模型参数,逐步提升仿真精度至工程实用水平。

## 5 结语

抗晃电技术体系的构建是化工企业实现本质安全的重要环节。本文提出的动态补偿、快速切换、设备耐受性提升等关键技术,通过多层级协同防护有效抑制了电压暂降的破坏性传导。实践表明,分级防护策略与电网结构优化的结合,既能针对性保障核心设备,又可实现整体防护成本可控。数字孪生技术的引入,为抗晃电方案的精准设计与动态优化提供了新范式。未来发展中,需重点关注宽禁带半导体器件、固态断路器等新型电力电子技术的工程化应用,同时深化人工智能在晃电预警与自适应保护领域的融合创新。建议行业完善抗晃电设计标准体系,加强设备制造商与用户的协同研发,推动防护技术从“被动补救”向“主动免疫”演进,为化工行业高质量发展构筑坚实的电力保障基石。

### [参考文献]

[1] 彭小敏,陈元刚,高云.基于超级电容储能的动态电压

恢复器在解决化工企业晃电中的应用[Z]中国机电一体化技术应用协会.第七届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛入选论文集.重庆建峰化工股份有限公司;,2024:336-341.

[2]王兴亮.化工工程供电方案设计与关键技术研究[J].电工技术,2024(13):90-92.

[3]王小闯,代顺庆.丹佛斯变频器抗晃电功能在化工行业

的应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(10):53-55.

[4]刘建中.化工厂供电系统抗晃电技术改造方案设计[J].设备管理与维修,2024(21):141-143.

作者简介:李友吉(1976.3—),男,毕业院校:浙江工业大学,所学专业:机电一体化,当前就职单位金华永和氟化工有限公司,职务:机动部副经理兼电仪班长,职称级别:工程师(高级技师)。