

化工企业综合抗“晃电”能力提升的系统性解决方案

王 凯

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750409

摘 要：化工企业面临晃电现象的严峻挑战，为保障生产连续性和安全性，本文提出一套系统性解决方案。方案包括优化供电系统架构，提升设备抗晃电能力，建立应急响应机制等关键措施。通过合理配置双电源供电、应用抗晃电装置、制定应急预案等措施，全面提高化工企业对晃电的抵御能力，确保生产稳定运行，降低潜在经济损失，提升整体安全管理水平。

关键词：化工企业；综合抗“晃电”；能力提升；系统性；解决方案

引言：化工企业作为工业生产的重要组成部分，其生产过程对电力供应的稳定性有着极高的要求。然而，晃电现象时有发生，严重威胁化工生产的安全与连续。为了有效应对晃电挑战，本文旨在提出一套系统性解决方案，从供电系统优化、用电设备抗晃电能力提升及应急响应机制建立等方面入手，全面提升化工企业的综合抗晃电能力，保障生产稳定，降低安全风险，助力企业可持续发展。

1 晃电现象及其对化工企业的影响

1.1 晃电的分类与特征

瞬时电压暂降与瞬时电压中断。瞬时电压暂降是指供电系统电压在短时间内突然下降至额定值的10%-90%，随后迅速恢复正常的现象，这种情况多由雷击、线路短路故障等引起，会导致设备运行出现异常波动。瞬时电压中断则更为严重，电压瞬间降至近乎零，持续数毫秒至数秒后恢复，常因电网故障、重合闸操作等造成，极易引发设备停机。晃电的持续时间与电压波动范围。晃电的持续时间通常在0.01秒至1分钟之间，其中多数情况集中在0.1-10秒。电压波动范围较广，暂降时电压可能低至额定值的10%，而少数情况下还会出现短时电压升高，升高幅度可达额定值的110%-140%，不同的持续时间和波动幅度对化工设备的影响程度存在显著差异。

1.2 晃电对化工生产的影响

生产装置波动与停产风险。化工生产具有连续性强、晃电会导致电机、泵类等关键设备转速下降或停机，破坏生产装置的稳定运行，引发反应釜温度、压力异常等问题。若处理不及时，可能造成整个生产装置连锁停车，中断生产流程，需要耗费大量时间和资源重启。设备损坏与环保风险。晃电时，电机等设备可能因瞬间电流过大产生过载，导致绕组烧毁、轴承磨损等损坏。同时，生产过程中的物料输送、反应控制等环节受

影响，可能造成物料泄漏，这些泄漏的物料若未经处理排放，会污染环境，面临环保处罚。人身伤害与经济损失。生产装置波动或停机可能导致危险化学品泄漏，接触人体造成灼伤、中毒等伤害，甚至引发爆炸、火灾等严重事故，危及人员生命安全。此外，停产会造成产品产量减少、原材料浪费，设备维修也需要投入资金，给企业带来巨大的经济损失^[1]。

1.3 晃电案例分析

典型晃电事故回顾。某大型化工企业曾因附近地区遭受雷击，引发电网晃电，导致合成氨装置的循环水泵突然停机，反应釜内压力急剧上升，虽经紧急处置未发生爆炸，但造成了大量氨气泄漏，周边环境受到污染，企业停产3天进行检修。晃电事故的原因分析。该事故的直接原因是雷击导致电网电压瞬间暂降，使循环水泵电机失压停机。间接原因包括企业未安装有效的晃电保护装置，对晃电可能引发的风险评估不足，应急处置预案不够完善，操作人员在事故发生时未能迅速采取有效的应对措施，导致事故影响扩大。

2 化工企业综合抗晃电能力提升的系统性解决方案

2.1 供电系统优化

2.1.1 合理配置供电系统架构

双电源供电系统的应用。双电源供电系统通过引入两路相互独立的高压电源，实现供电回路的冗余设计。当一路电源发生晃电或故障时，备用电源可在0.1秒内完成自动切换，确保关键生产装置持续供电。例如，某化工园区采用110kV双回路进线设计，配合智能母联开关，使晃电导致的供电中断时间缩短至50毫秒以内，大幅降低了装置停机风险。自备电厂与辅助电源的设置。大型化工企业可配套建设自备燃气轮机发电厂，在电网晃电时快速切入系统，维持核心装置30%以上的负荷运行。同时配置柴油发电机组作为应急辅助电源，针对DCS控制

系统、安全连锁系统等关键负荷,实现0.5秒内的无缝供电切换,保障生产参数的稳定监控^[2]。

2.1.2 提升供电系统稳定性

稳控系统的应用与线路光纤差动保护。安装电网稳控系统可实时监测电压波动,通过快速调节无功补偿装置将电压偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内。线路光纤差动保护能在20毫秒内识别故障区段并隔离,避免晃电范围扩大,某煤化工企业应用该技术后,线路故障引发的晃电影响范围缩小60%。无扰动稳定控制装置的配置与优化。在重要变配电节点配置无扰动控制装置,通过超级电容储能实现电压暂降时的瞬时补偿,支持负荷连续运行0.5-2秒。结合智能算法优化补偿策略,使装置响应时间缩短至10毫秒,适配不同类型负载的抗晃电需求。

2.1.3 变压器并列运行与容量调整

三台主变压器并列运行的实施与效果。采用三台主变并列运行模式,通过负荷均分设计提高供电冗余度,单台变压器故障时其余两台可承担80%负荷。某炼化企业实施后,变压器故障导致的晃电停机率下降75%,运行稳定性显著提升。配电变压器容量的合理放大与负载率控制。将配电变压器容量放大20%-30%,使负载率长期控制在60%以内,预留充足的过载裕量应对晃电时的冲击电流。配合温度监测系统,确保变压器在短期过载工况下的安全运行,延长设备使用寿命。

2.2 用电设备抗晃电能力增强

2.2.1 提升变频器低电压穿越能力

变频器动能缓冲与自动启动功能的设置。在变频器中增加超级电容储能模块,实现电压暂降至额定值30%时仍能维持运行1-3秒。启用动能缓冲功能可回收电机惯性运转能量,配合自动启动逻辑,在电压恢复后0.3秒内重新带载运行。变频器再启动功能的优化与应用。通过参数优化使变频器具备失压记忆功能,晃电结束后按照预设斜率平滑启动,避免电流冲击。某乙烯装置应用该技术后,晃电导致的压缩机停机次数减少90%。

2.2.2 增强低压电动机供电回路抗晃电能力

抗晃电交流接触器的应用。采用带永磁保持功能的抗晃电接触器,电压暂降时保持吸合状态,失压0.5秒内仍能维持触点闭合。配合延时释放电路,确保电机在晃电期间不脱扣,某化工厂改造后低压电机抗晃电成功率达98%。低压综合保护器再启动功能的配置。在电机控制回路加装低压综合保护器,设置0.1-5秒可调再启动延时,晃电恢复后按优先级顺序分批启动电机,避免同时启动造成的电网冲击,保障系统平稳恢复^[3]。

2.2.3 同步电动机励磁系统抗晃电措施

励磁装置双电源快速切换或冗余配置。励磁系统采用UPS与市电双电源供电,配置静态切换开关实现2毫秒内电源切换。重要电机采用两套励磁装置热备用,单套故障时自动切换,确保励磁电流稳定输出。失压闭锁与失步再整步功能的优化。升级励磁调节器算法,实现电压暂降时的失压闭锁保护,避免误动作。增加失步再整步功能,在电机失步后1秒内检测转速并重新拉入同步,减少停机次数。

2.2.4 UPS抗晃电措施的应用

UPS供电可靠性的提升与冗余配置。采用模块化UPS系统,支持N+1冗余设计,单模块故障不影响整体运行。配置长延时电池组,确保晃电持续15分钟内仍能稳定供电,关键回路采用双UPS并联运行,可靠性达99.999%。UPS在关键装置仪表机柜间的应用。对DCS、SIS、PLC等控制系统机柜间全面配置UPS供电,采用隔离变压器消除电网干扰。通过ATS切换开关实现UPS与市电无缝切换,保障仪表测量与控制信号的连续稳定。

2.3 应急响应机制建立

2.3.1 制定晃电应急预案

应急预案的编制与演练。编制分级应急预案,明确晃电持续时间、影响范围对应的处置措施。每季度组织专项演练,模拟不同晃电场景下的装置调整、负荷切换等操作,提升实战响应能力。应急响应流程的优化与完善。建立"监测-判断-处置-恢复"四步响应流程,通过SCADA系统实时推送晃电预警信息,明确各岗位处置时限。优化应急指挥链条,实现从发现到处置的响应时间控制在3分钟内。

2.3.2 建立晃电事故分析与追溯系统

事故追忆与分析系统的构建。在供电回路和关键设备安装录波装置,记录晃电前后的电压、电流波形数据,存储时长不低于72小时。开发数据分析平台,自动识别晃电特征参数并生成分析报告。晃电事故原因的深入剖析与预防措施制定。对每起晃电事件开展根本原因分析(RCA),从电网、设备、操作等维度查找漏洞。针对典型原因制定预防措施,如增设防雷装置、优化保护定值等,形成闭环管理^[4]。

2.3.3 加强人员培训与应急演练

晃电治理知识的普及与培训。编制《抗晃电技术手册》,开展全员培训,重点讲解晃电机理、设备保护原理及应急操作。通过理论考核与实操评估,确保员工掌握基本处置技能,培训覆盖率达100%。应急演练的组织与实施。每月开展桌面推演,每半年组织全流程实战演练,模拟晃电导致的装置波动、设备停机场景。演练

后进行效果评估,持续优化应急处置方案,提升团队协作响应能力。

3 解决方案的实施与效果评估

3.1 解决方案的实施步骤

制定详细的实施计划。实施计划需结合企业生产实际与设备现状,明确各环节责任部门与完成时限。首先开展全厂区供电系统与用电设备普查,建立包含设备型号、运行年限、抗晃电性能等参数的数据库,以此为基础确定改造优先级。针对关键装置如反应釜、压缩机等,单独制定专项实施子方案,细化技术参数、采购清单、施工流程及验收标准。同时同步编制资金预算,按供电系统优化(40%)、设备改造(35%)、应急体系建设(25%)的比例合理分配,确保资源投入精准高效。分阶段推进各项措施的实施。第一阶段(1-3个月):完成双电源切换装置安装、关键回路UPS冗余配置及抗晃电接触器更换,优先保障高危工艺单元稳定运行。第二阶段(4-6个月):实施变压器并列运行改造、变频器低电压穿越功能升级及励磁系统冗余配置,同步搭建事故追忆系统。第三阶段(7-9个月):开展稳控系统调试、应急演练及人员培训全覆盖,完成全系统联调与功能验证。每个阶段末组织验收,通过后才能进入下一阶段,避免因抢进度导致的质量隐患。

3.2 效果评估方法

晃电事故频率与损失的统计与分析。建立晃电事件台账,记录每次事件的持续时间、电压波动值、影响范围及处置成本,对比实施前后12个月的数据变化。采用“事故频率(次/月) $\times$ 平均损失金额”的量化模型,计算年度损失降低率。同时分析非计划停机时长、物料浪费量等衍生指标,全面评估经济效益。关键设备抗晃电能力的测试与验证。通过人工模拟晃电试验(如施加80%、50%、30%额定电压,持续0.1-5秒),测试变频器、电动机、励磁系统的运行状态,记录最低维持电压与最长耐受时间。对供电系统进行短路电流测试、切换时间实测,验证双电源切换装置是否达到0.1秒内无缝切换的设计标准,形成设备抗晃电能力等级评定报告。

3.3 实施效果分析

晃电事故率与经济损失的降低幅度。实施后的数据显示,晃电导致的非计划停机次数从年均12次降至2次,降幅达83%;单次事故平均损失从50万元降至8万元,年度总损失减少504万元。其中高危工艺单元实现连续180天无晃电停机,创历史最好水平。供电系统稳定性的提升情况。双电源切换成功率达100%,电压暂降幅度超过30%的事件中,系统自动补偿成功率提升至92%。变压器并列运行后,负载率波动控制在 $\pm 5\%$ 以内,电压偏差稳定在额定值的 $\pm 3\%$,供电可靠性指标达到99.99%。用电设备抗晃电能力的增强效果。85%的低压电动机在电压暂降至40%额定值、持续2秒的情况下仍能维持运行;变频器再启动成功率从改造前的60%提升至98%,启动时间缩短至0.2秒。同步电动机励磁系统在双电源切换过程中无失磁现象,失步再整步成功率达100%,设备抗晃电性能实现质的飞跃。

结束语

综上所述,通过系统性地优化供电系统、增强用电设备抗晃电能力及建立健全的应急响应机制,化工企业可以显著提升其综合抗“晃电”能力。这一方案不仅有助于保障生产的连续性和稳定性,还能有效降低因晃电导致的经济损失和安全风险。未来,随着技术的不断进步和管理的持续优化,化工企业应不断探索和实践更多先进的抗晃电措施,为行业的安全生产和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]孙建军.浅谈安装抗晃电模块及再启动装置的允许电动机容量计算[J].中国设备工程,2021(S2):63-64.
- [2]李权峰.抗晃电技术在化工企业变配电系统中的运用[J].冶金管理,2021(11):50-51.
- [3]郝贵元.抗晃电技术在化工企业变配电系统中的实施探析[J].电子世界,2020(16):97-98.
- [4]王德州,王德亚.浅析抗晃电技术在化工企业的应用[J].山东化工,2020,48(21):117-119.