

化工企业供配电系统可靠性优化与故障防范研究

刘 凯

天津渤化化工发展有限公司 天津 300450

摘 要：本研究聚焦化工企业供配电系统的高可靠性核心需求，结合化工场景区别于普通工业的专属运行特性，系统梳理了线路绝缘劣化、核心电气设备性能衰减、运行管控体系缺陷三类典型故障的形成机理，明确了不同故障类型对供电连续性的影响路径。从系统架构优化、全周期运维管理、故障分级防控、负荷动态管控四个维度，提出适配化工恶劣工况的可靠性优化与故障防范策略，为化工企业构建全链路的供配电安全保障体系提供可落地的技术参考，有效降低非计划停电引发的生产安全风险与经济损失。

关键词：化工企业；供配电系统；可靠性优化；故障防范

引言：化工行业作为高危连续生产类场景，供配电系统的稳定运行是保障生产安全、工艺连续的核心基础。不同于民用建筑与普通工业供配电系统，化工场景下腐蚀性介质密集、冲击性负荷集中、系统联锁联动属性强，常规的通用供配电运维标准无法适配其高可靠性要求。近年来国内多地化工企业因供配电故障引发的非计划停机、安全联锁误动作事件频发，暴露出大量企业在系统架构设计、运维管控、保护配置层面的短板。在此背景下开展化工供配电系统可靠性优化与故障防范的系统性研究，对补齐化工生产用电安全短板、防范次生安全事故具备重要的工程应用价值。

1 化工企业供配电系统核心特性

化工企业供配电系统完全适配化工特殊生产场景的运行需求，与民用建筑及普通工业供配电系统存在显著差异，其专属运行特性是行业对供电可靠性提出极高标准的核心依据。（1）供电连续性要求严苛，化工生产全流程多为闭环连续工艺，生产线启停操作流程复杂、耗时久，非计划停电会直接导致核心工艺参数短时间内失衡，造成大量生产物料报废、核心动设备非正常损耗，部分涉及高危介质的核心生产装置，完全不允许出现毫秒级的短时供电中断。（2）负荷结构复杂多元，化工生产场景覆盖大功率拖动电机、电加热反应设备、高精度自控仪表、常规照明安防等多类型用电负荷，冲击性负荷、感性负荷高度集中，运行过程中易引发电网电压大幅波动、谐波含量超标等问题，直接影响全系统供电质量稳定性。再者是现场运行环境恶劣，化工生产车间普遍存在腐蚀性气态介质、可燃性粉尘、持续高温高湿等不利条件，会持续侵蚀电气设备金属外壳、电力线路绝缘层、接线端子等关键结构，大幅加速设备部件性能老

化速率，提升故障发生概率。（3）系统联动属性极强，供配电系统与生产过程自控系统、安全联锁保护系统深度绑定联动，供电参数异常波动、短时局部故障均可触发联锁保护动作，直接引发全生产线非计划停机，进一步扩大故障的影响范围与损失规模^[1]。

2 化工企业供配电系统常见故障及可靠性影响因素

2.1 线路系统常见故障

供配电线路是化工企业内部完成电能跨区域传输的核心载体，也是全系统供电故障的高发环节，其运行状态直接决定全链路供电的连续性与稳定性。（1）化工生产现场长期存在的腐蚀性气态介质、可燃性粉尘持续堆积，会沿电缆外护套缝隙逐步侵入内部结构，持续侵蚀交联聚乙烯绝缘层，逐步降低绝缘材料的体积电阻率与击穿强度，长期运行后极易引发线路漏电、相间短路、单相接地短路等典型故障。（2）化工生产区域用电设备布置密集、线路排布路径受工艺管线限制复杂交错，部分重载拖动回路的线路长期处于满负荷甚至过载运行状态，线缆导体运行温度持续超出设计允许阈值，会大幅加速绝缘材料的热老化、开裂进程，直接诱发不可逆的线路绝缘故障。（3）生产车间长期的动设备振动、一线人员作业误触碰、周边高温工艺管线挤压等外力因素影响，会造成线路接线端子虚接松动、线缆外护套机械破损，进而引发回路接触电阻超标、供电中断等问题，严重影响整个配电系统的稳定运行。这类线路故障普遍具备隐蔽性强、隐患积累性强的特征，初期轻微绝缘劣化难以被常规人工巡检及时发现，隐患持续发展后会引发覆盖多个生产单元的大范围供电异常^[2]。

2.2 电气设备运行故障

化工供配电系统的核心组成包含电力变压器、高压开关柜、断路器、互感器、无功补偿电容器等关键电气设备,设备性能的自然衰减与突发运行故障,是直接影响全系统供电可靠性的核心硬件因素。(1)电力变压器长期处于高负荷运行状态,叠加化工场景环境温度偏高的外部条件,会逐步出现铁芯局部过热、绕组绝缘层热老化、绝缘击穿等问题,直接引发输出电压不稳定、设备运行异响、非计划保护性停机故障。(2)高压开关柜、断路器在长期频繁分合操作过程中,会出现动触头机械磨损、接触面电弧氧化烧蚀、机械传动结构卡滞等问题,最终导致合闸不到位、故障状态下跳闸失灵,无法实现正常的配电控制与故障隔离保护动作。(3)无功补偿电容器长期在谐波含量超标的工况下运行,内部介质损耗持续升高,易出现壳体鼓包、绝缘油渗漏、额定容量大幅衰减等问题,直接造成电网无功补偿能力不足,引发母线电压偏差超标、系统功率因数过低等供电质量问题。所有核心电气设备在化工场景的腐蚀性气体、粉尘密集的恶劣运行工况下,金属零部件与绝缘部件的损耗速率会大幅加快,整体设备年均故障率显著高于普通工业场景,直接拉低整个供配电系统的长期运行可靠性。

2.3 系统运行管控缺陷

除线路与核心电气设备的硬件故障外,供配电系统运行管控体系的不完善,是引发供电异常、拉低系统整体可靠性的重要人为诱因。(1)项目前期设计阶段与后续长期运行过程中,负荷分配未经过严谨的潮流计算与动稳定校验,部分生产区域集中接入多台大功率冲击性负荷,未开展针对性的负荷动态调配,直接导致局部配电网长期过载运行、母线电压大幅波动,引发持续性的供电不稳定问题。(2)日常运维管控精细化程度不足,多数化工企业未建立覆盖全系统的常态化设备分级巡检、关键性能带电检测、隐患闭环排查治理机制,设备潜在性能缺陷、线路隐性绝缘故障无法被及时发现治理,初期微小隐患逐步发展为影响多个生产单元的系统性故障。(3)供配电系统各级保护装置的动作参数配置不合理、上下级保护的联动逻辑未完成逐回路精准校核,运行过程中易出现正常工况下保护误动、故障状态下保护拒动的现象,故障发生时无法快速精准隔离故障区域,导致故障沿配电回路越级扩散,大幅扩大停电覆盖范围与电气设备损坏程度^[3]。

3 化工企业供配电系统可靠性优化与故障防范策略

3.1 优化供配电系统整体架构

结合化工生产连续不间断运行的核心管控需求,

对现有供配电系统整体架构进行针对性优化升级,从系统设计根源上提升全链路容错能力与长期运行稳定性。(1)针对涉及高危介质、连续生产的核心装置,严格按照化工行业供电安全规范采用双回路、双独立电源供电架构,实现主备供电电源的完全冗余备份,当单一路供电出现故障时,可通过校验合格的双电源自动切换装置在毫秒级完成电源切换,完全避免核心生产装置非计划停电停机。(2)优化中低压配电网层级布局,科学合理划分配电管控区域,实现不同生产单元负荷的分区管控、故障分区隔离,彻底避免单一局部区域故障引发全厂性供电瘫痪。(3)针对大功率拖动电机、冲击性加热负荷等设备,单独设置专属独立配电回路,与自控仪表、安全联锁等精密弱电负荷回路物理分离,规避大功率设备运行产生的谐波、电压暂态波动对精密设备供电的干扰。此外按需配置动态无功补偿装置,根据实时负荷动态变尽快要一个清楚的发我下,快送印了尽快要一个清楚的发我下,快送印了化精准调整补偿容量,稳定母线电压偏差,优化全系统供电质量,降低电网长期运行损耗^[4]。

3.2 强化设备与线路运维管理

针对化工高温高湿、腐蚀介质密集的恶劣工况下,电气设备与线路易老化损坏的突出问题,建立覆盖选型、巡检、养护全流程的精细化运维体系,从硬件层面有效防范各类故障发生。(1)在设备与线路选型阶段,优先选用具备防腐、耐高温、防尘认证的工业级防爆电气设备与特种阻燃线缆,完全适配化工生产现场的特殊运行环境,从硬件源头提升设备抗腐蚀、抗损耗能力。(2)建立分级常态化巡检机制,重点检测全回路线路绝缘性能、核心设备运行温度、开关柜触头接触状态、各类运行仪表参数,对已出现老化、破损、性能衰减的线路段与设备零部件及时完成更换,彻底消除常规巡检难以发现的隐性故障隐患。(3)制定核心设备周期性专项养护方案,定期对变压器、开关柜、断路器等关键设备开展内部除尘、接线端子紧固、传动结构润滑、保护性能校准作业,全面清理设备表面积聚的粉尘与腐蚀残留物,保障设备机械性能与电气性能长期稳定。针对长期处于重载运行状态的线路与设备,加装在线负荷监测终端,动态跟踪实时负荷状态,合理调控运行负载率,避免长期过载运行加速设备绝缘老化进程。

3.3 完善故障防控与保护机制

依托化工场景供配电系统的专属运行特性,针对性优化全链路保护配置,构建精准响应、分级隔离的故障防范与保护体系。(1)联合具备化工供电校验资质的

专业技术人员,完成各级保护装置动作参数的逐回路科学整定,完全匹配化工场景冲击性负荷、连续生产负荷的启动与运行特性,从根源规避正常工况下保护误动、故障状态下保护拒动的问题,确保短路、过载、漏电等典型故障发生时,能够快速精准定位故障点并隔离对应回路,完全避免故障沿配电链路越级扩散至非故障区域。(2)在系统进线端、母线节点、核心设备进线处等关键位置,增设电压在线监测、谐波含量监测、开关柜触点温度监测等数字化采集模块,实现对全系统供电参数、核心设备运行状态的24小时不间断采集监控,通过后台历史数据趋势比对分析,提前预判设备性能劣化、线路隐性绝缘隐患,实现故障前置预警、隐患提前处置,避免微小问题发展为影响多单元生产的故障。(3)优化供配电系统与生产自控系统的联锁触发逻辑,明确划分普通短时供电波动与重大安全故障的判定阈值,设置符合工艺要求的电压暂降延时保护,避免毫秒级短时电压波动触发生产系统非必要紧急停机,平衡系统安全防护等级与生产连续性要求。建立覆盖全故障类型的分类处置机制,针对不同等级的供电故障编制标准化应急处置流程,明确不同岗位人员的操作权限与处置步骤,定期开展故障应急演练,大幅提升故障应急处置效率,压缩故障排查与供电恢复时长。

3.4 优化负荷动态管控模式

负荷分配失衡、回路长期过载运行是引发化工供配电系统故障的核心人为诱因之一,需通过全流程精细化负荷管控,从运行层面系统性提升系统整体可靠性。(1)组织专业电气技术人员完成全厂区所有用电负荷的全面摸排,逐一梳理不同类型负荷的日常运行规律、电机启动特性、峰值负荷区间,建立覆盖所有生产单元的全量负荷台账,精准掌握全系统实时负荷分布与动态变化状态。(2)基于摸排得到的负荷特性数据,科学统筹调配厂区生产用电负荷,错峰安排大功率拖动电机、电加热反应设备的启停运行时序,严格规避多台高冲击性设备同时启动造成的电网瞬时过载、母线电压

骤降问题。对厂区内老旧高损耗、运行参数异常、无效耗电占比过高的用电设备,制定专项优化整改方案,通过设备升级改造、低效负荷关停等方式降低无效用电占比,提升电网有效负荷利用率。(3)搭建全厂区统一的负荷动态监控体系,在各配电回路加装智能计量采集终端,实时跟踪电网整体负荷与各分区回路的负荷变化情况,当回路负荷运行值接近预设安全阈值时,系统自动发出预警信号,运维人员可及时联动生产部门调整用电方案,从运行管控层面彻底杜绝回路长期过载运行,有效规避负荷类供电故障的发生^[5]。

结束语

化工企业供配电系统的可靠性提升是一项覆盖设计、运维、管控全生命周期的系统性工程,无法通过单一设备升级实现长期稳定运行。只有结合化工场景的特殊运行特性,从根源上优化系统架构容错能力,在日常运维中落实精细化管控要求,在故障防控层面构建分级隔离的保护体系,在运行环节实现负荷的动态精准管控,才能形成全链条的故障防范闭环。后续随着智慧供配电、无人值守配电室技术的逐步落地,化工企业可进一步融合数字化监测手段,实现供配电系统的预判性维护,持续提升系统长期运行的可靠性与本质安全水平。

参考文献

- [1] 米多,白能东.能源化工企业公辅系统设备预防性维修策略与应用探讨[J].石油石化物资采购,2026,(4):31-33.
- [2] 田宏会.化工企业供配电系统中抗晃电技术的应用研究[J/OL].中国科技期刊数据库工业A,2023,(7):29-31
- [3] 陈洋洋,郭靖.化工行业供配电系统的优化设计与研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023,(8):27-30
- [4] 钱锐.化工企业低压动力电缆选择分析[J].山西化工,2023,43(4):106-109.
- [5] 郝蒙.低压电气设备故障诊断与维护技术研究[J].电力研究,2026,9(5):85-87.