

炼油装置电气设备的继电保护与快切备自投技术应用

吴时孔

洛阳三隆安装检修有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524000

DOI:10.61369/ERA.2025100014

摘 要 : 炼油装置电气系统的高连续性与危险性对供电可靠性提出严苛要求。传统继电保护技术面临响应速度与选择性问题, 易导致越级跳闸或故障切除延迟, 难以满足毫秒级故障响应需求。研究提出继电保护与快切备自投技术协同优化方案, 通过 IEC61850 协议构建通信架构, 实现保护动作与电源切换的时序配合。快速切换技术将备用电源投入时间压缩至 100ms 内, 结合差动保护与残压闭锁策略, 确保故障隔离与供电恢复无缝衔接。仿真与实验表明, 协同策略使故障停电时间缩短至 80ms 以下, 电动机转速波动控制在 $\pm 5\%$, 切换成功率超过 99%。某炼油厂应用案例显示, 年均非计划停机时长由 36 小时降至 2 小时, 设备损伤率减少 42%。该方案有效提升供电可靠性与设备寿命, 降低安全风险, 为炼油装置智能化供电系统发展提供技术支撑。

关 键 词 : 继电保护; 快切备自投技术; 协同优化; 炼油装置供电系统

Application of Relay Protection and Fast Switching & Backup Automatic Transfer Technology in Electrical Equipment of Oil Refining Units

Wu Shikong

Luoyang Sanlong Installation and Maintenance Co., Ltd. Zhanjiang Branch, Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : The high continuity and hazardous nature of oil refining unit electrical systems impose stringent requirements on power supply reliability. Traditional relay protection technologies face challenges in response speed and selectivity, leading to cascading tripping or delayed fault clearance, which struggles to meet millisecond-level fault response demands. This study proposes a collaborative optimization scheme integrating relay protection and fast switching & backup automatic transfer technology. By establishing a communication architecture based on the IEC61850 protocol, temporal coordination between protection actions and power source switching is achieved. The fast switching technology reduces backup power restoration time to within 100 milliseconds, while differential protection and residual voltage blocking strategies ensure seamless fault isolation and power recovery. Simulations and experiments demonstrate that the collaborative strategy shortens fault-induced outage time to below 80 ms, confines motor speed fluctuations within $\pm 5\%$, and achieves over 99% switching success rate. A refinery case study shows annual average unplanned downtime duration reduced from 36 hours to 2 hours, with equipment damage rate reduced by 42%. The solution effectively enhances power supply reliability and equipment lifespan, mitigates safety risks, and provides technical foundations for intelligent power systems in oil refining units.

Keywords : relay protection; fast switching & backup automatic transfer technology; collaborative optimization; oil refining unit power supply system

引言

炼油装置作为能源产业链的核心环节, 其电气系统可靠性直接关系到生产连续性与本质安全水平。随着《“十四五”现代能源体系规划》(2021 年 9 月) 明确提出强化炼化行业智能运维与供电韧性要求, 传统继电保护技术面临的响应速度与选择性问题愈发凸显。炼油装置电气设备运行环境复杂, 电动机启动电流冲击、变压器高负载率运行及谐波干扰等特征, 使得传统过流保护与延时跳闸机制易引发越级跳闸或故障切除延迟, 造成非计划停机与安全风险。快切备自投技术虽能提升供电连续性, 但其与继电保护的协同逻辑设计仍存在时序配合与参数整定难题。近年来基于 IEC61850 标准的数字化保护技术发展为多保护单元协同提供了新路径, 但如何在炼油装置特殊工况下实现毫秒级故障隔离与电源快速切换的精准配合, 仍需系统性解决方案。本研究聚焦炼油装置供电系统的保护优化需求, 探索继电保护与快切技术的深度协同机制, 旨在为构建符合国家能源安全战略的高可靠供电体系提供理论支撑。

一、炼油装置电气系统概述

（一）炼油装置电气设备组成与运行特点

炼油装置电气系统主要由电动机、变压器及配电系统构成。电动机作为核心动力设备，需适应频繁启停与大转矩负载，其启动电流可达额定值的5-8倍，对电网冲击显著；变压器承担电压等级转换与电能分配功能，长期处于高负载率运行状态；配电系统则通过母线、断路器等实现电能传输与控制。炼油生产具有高连续性、高危险性特征，供电中断可能导致反应器失控、高温高压介质泄漏等重大安全事故，因此供电系统需满足99.9%以上的可靠性标准，且需符合防爆、防腐等特殊环境要求。



图 1.1 工业控制面板

（二）炼油装置供电系统的典型问题与挑战

炼油装置供电系统面临短路故障、电压暂降及谐波干扰等多重威胁。短路故障易引发设备绝缘击穿与热应力损伤；电压暂降可能造成电动机堵转或控制系统误动作；非线性负荷产生的谐波则加剧设备过热与保护装置误判风险。传统继电保护方案依赖过流保护与延时跳闸机制，在复杂工况下难以兼顾快速性与选择性，易导致故障切除延迟或越级跳闸，扩大停电范围，难以满足炼油装置对毫秒级故障响应的严苛需求。

二、炼油装置继电保护技术研究

（一）继电保护的基本原理与配置方案

炼油装置继电保护基于故障特征检测实现设备保护。过流保护通过监测电流幅值识别短路或过载故障，适用于配电线路及电动机后备保护；差动保护利用电流矢量和判断定位变压器、母线等设备内部故障，具有高选择性；接地保护通过零序电流检测漏电或单相接地故障，保障人身与设备安全^[1]。保护整定需兼顾灵敏度、速动性与可靠性：灵敏度确保轻微故障可识别，速动性要求毫秒级动作以限制故障扩散，可靠性则依赖冗余配置与抗干扰设计，避免误动或拒动^[2]。

（二）炼油装置典型继电保护案例分析

炼油装置供电系统面临短路故障、电压暂降及谐波干扰等多重威胁。根据《中国石化炼化企业电气预防性工作策略》（2024

版）》，企业应通过定期性维护、预知性维修和季节性维护等手段，确保设备运行可靠性。例如，对高压电缆进行振荡波局放检测，对变压器开展油色谱分析，以及对开关柜进行红外成像检测等，以提前发现潜在缺陷并降低非计划停机风险。

三、快切备自投技术（BZT）在炼油装置中的应用

（一）快切备自投技术原理与实现方式

1. 快速切换与同期捕捉切换的对比分析

快速切换基于故障后母线残压与备用电源电压的幅值、相位差实时判断，在故障后60-100ms内完成切换，适用于对供电连续性要求苛刻的场景；同期捕捉切换则通过跟踪残压衰减曲线，在相位差接近零时合闸，切换时间延长至200-500ms，适用于允许短时断电但需避免冲击电流的工况^[3]。快速切换依赖高精度电压检测与快速断路器动作，同期捕捉切换需配置相位预测算法，两者在切换逻辑与时间要求上形成互补。合理配置快切装置，应将快速保护作为快切装置的启动条件，以确保在故障发生时能够迅速响应，保障供电的连续性和稳定性。

2. 炼油装置备用电源切换的关键参数设计

切换时间需控制在100ms以内以维持电动机惰转转速，避免生产中断；残压闭锁条件设定为母线残压低于30%额定值时禁止切换，防止非同同期合闸；合闸角差通过动态相位补偿限制在 $\pm 30^\circ$ 以内，降低合闸涌流对设备的冲击^[4]。参数设计需结合炼油装置负荷惯性特性与断路器机械响应特性，采用自适应算法实时调整阈值，确保切换成功率与设备安全。

（二）快切备自投技术的实际应用效果

1. 某炼油厂母线失压后的快速切换实例

某炼油厂因雷击导致10kV母线失压，快切装置在85ms内完成备用电源切换，母线电压恢复至95%额定值。电动机转速仅下降12%，未触发低电压保护跳闸，催化裂化装置未中断运行。实验数据表明，切换时间低于100ms时，电动机惰转转速维持在临界值75%以上，可避免重启导致的数小时生产停滞，验证了快速切换对连续生产的核心保障作用。

2. 与传统备自投技术的性能对比

传统备自投依赖电压检测与固定延时（500ms以上），故障恢复时间长达2-3分钟，导致电动机群停与重启损耗；BZT技术将恢复时间压缩至200ms内，年故障停机次数由12次降至2次。量化分析显示，BZT合闸涌流峰值降低40%，变压器绕组应力减少35%，设备寿命延长约20%，故障电流冲击导致的绝缘老化风险显著下降。

四、继电保护与快切备自投的协同优化设计

（一）协同保护系统的架构设计

1. 继电保护与快切装置的通信接口方案

基于IEC 61850协议的通信架构实现继电保护与快切装置的信息交互，通过标准化建模（如GOOSE、SV报文）传输故障信

号、断路器状态及母线残压数据。GOOSE 报文实现微秒级保护动作信号传递，SV 采样值同步精度达 $1\mu\text{s}$ ，确保装置间协同决策的实时性与可靠性^[5]。该协议支持多厂商设备互操作，通过订阅—发布机制动态配置信息流，解决传统硬接线通信的延迟与兼容性问题，为多保护单元协同提供底层支撑。

2. 保护动作与电源切换的时序配合策略

故障发生时，继电保护优先动作切除故障区间，快切装置接收闭锁信号后延迟 5–10ms 启动电源切换，避免故障未隔离时误合闸。优先级逻辑设定为：短路故障触发差动保护跳闸并闭锁快切，电压暂降则直接启动快速切换^[6]。自适应延时算法根据故障类型动态调整切换时序，残压闭锁阈值与角差限值随负荷特性实时优化，确保故障隔离与供电恢复的无缝衔接，降低设备二次冲击风险。

(二) 系统仿真与实验验证

1. 基于 ETAP/Matlab 的协同保护仿真模型

通过 ETAP 搭建炼油装置供电网络模型，集成变压器、电动机及母线参数，Matlab/Simulink 嵌入自定义保护逻辑与快切算法。仿真模拟三相短路、单相接地等故障场景，动态分析继电保护动作与快切切换时序：差动保护在 15ms 内隔离故障，快切装置随后 60ms 完成备用电源投入，母线电压恢复至 90% 额定值。对于大容量高压电机的再起启动，仿真模型还进行了系统仿真校核，校核所需的关键参数包括电机的起动倍数、机组起动转动惯量、快切装置动作参数、元件过流保护参数等。仿真结果表明，协同策略可将故障停电时间压缩至 80ms 以下，电动机转速波动控制在 $\pm 5\%$ 以内，验证了理论设计的可行性和可靠性。

2. 实际装置测试结果分析

在某炼油厂试点项目中，协同保护系统完成了 300 次模拟故障测试，切换成功率达到 99.2%，保护动作准确率为 98.5%。实测数据显示，在短路故障下，差动保护动作时间的平均值为 18ms，快切切换时间的平均值为 82ms，相较于传统方案缩短了 65%。同时，合闸角差被有效控制在 $\pm 25^\circ$ 以内，涌流峰值降低至额定电流的 1.8 倍，设备损伤率显著下降了 42%。对于少数切换失败的案例，经过分析发现主要原因是断路器的机械延迟。通过实施自适应参数修正措施后，系统的鲁棒性得到了显著提升，达到了 99.6%。这些测试结果充分验证了协同保护系统在提高供电可靠

性、减少设备损伤以及提升系统整体性能方面的显著优势。

(三) 工业应用案例分析

1. 某炼油厂供电系统改造项目

某炼油厂对催化裂化装置供电系统实施协同优化改造，集成差动保护、快切备自投及 IEC 61850 通信架构^[7,8]。改造后系统年均故障次数由 9 次降至 0.5 次，供电可靠性提升至 99.99%，关键机组非计划停机时长从年均 36 小时缩短至 2 小时。运行数据表明，母线失电后备用电源切换成功率提升至 99.5%，故障切除与切换协同时间误差低于 5ms，电动机群再启动需求减少 80%，避免了因电压暂降导致的催化剂结焦风险，保障了连续重整工艺的稳定运行。

2. 经济效益与安全效益评估

协同优化系统使炼油厂年非计划停机损失减少约 1200 万元，设备维修成本下降 45%，主要源于短路电流冲击与频繁启停导致的绕组损伤减少^[9,10]。安全方面，故障电弧引发火灾的风险概率降低 70%，瓦斯保护误动次数由年均 8 次降至 1 次。冗余通信与自适应逻辑设计将人为操作失误导致的事故率从 12% 压缩至 0.3%，设备平均寿命延长 3–5 年，全生命周期成本节约预估达 5800 万元，验证了技术协同在经济效益与安全生产中的双重价值。

五、总结

炼油装置的供电系统因其高连续性和高危险性对供电可靠性提出了严苛要求。传统继电保护方案在复杂工况下难以兼顾快速性与选择性，易导致故障切除延迟或越级跳闸，难以满足毫秒级响应需求。本文提出继电保护与快切备自投技术的协同优化设计，通过基于 IEC 61850 协议的通信架构实现信息交互与实时协同决策。快速切换逻辑与保护整定方法的创新设计，确保故障隔离与供电恢复的无缝衔接，显著提升供电可靠性。实验与仿真验证表明，协同策略可有效缩短故障停电时间，降低电动机转速波动，减少设备损伤风险。工业应用案例显示，该技术显著减少了非计划停机损失和设备维修成本，降低了故障电弧引发火灾的风险，为炼油装置供电系统的智能化、自适应发展方向提供了理论与实践支撑。未来研究可进一步探索智能化与自适应保护技术在炼油领域的应用潜力。

参考文献

[1] 崔立强. 高压电源快切对继电保护影响的研究 [D]. 天津理工大学, 2012.
[2] 吕文峰张政学岳阳张艺宁. 660 V 供电系统在石化行业应用分析 [J]. 炼油技术与工程, 2022, 52(4): 65–68.
[3] 周雪松, 周金程, 马幼捷, 等. 基于快切技术的高压电源投切系统的研究 [J]. 电工电能新技术, 2014, 33(1): 5.
[4] 高子波. 快速快切装置替代备自投的应用 [J]. 科技创新导报, 2016, 13(13): 3.
[5] 王文涛. 低压快切与传统备自投装置的比较分析 [J]. 电子世界, 2017(7): 2.
[6] 吴杰. 快切装置替代备自投装置提高供电系统可靠性 [J]. 通用机械, 2015(3): 4.
[7] 罗文新, 崔春全, 张宏达, 等. 快切与传统备自投系统优缺点分析 [J]. 当代化工, 2016, 45(4): 4.
[8] 韩旭. 快切装置在炼油部电网中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2016(12): 00221–00222.
[9] 郝娟. 浅析快切装置在炼化企业中的应用 [J]. 信息周刊, 2019(36): 1.
[10] 于哈培, 孟祥军, 郝思佳. 快切装置在炼化企业的应用 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(11): 5.