

快速备自投装置在石化厂 0.4kV 电气系统的应用

郑思杰 韩德良 马 腾

浙江石油化工有限公司 浙江 舟山 316200

【摘 要】：石化行业的连续化生产工艺对 0.4kV 低压配电系统的供电可靠性要求很高，传统的备用电源自动投入装置切换时间长、控制逻辑简单，电源故障时容易引起工艺机组停机、生产联锁跳闸等安全事故。本文根据石化厂区低压配电运行工况，分析传统低压备自投装置工作原理和固有的应用缺陷，介绍金智科技 MFC2032 快速备用电源自投装置的硬件结构、运行逻辑和配套辅助功能，用石化现场试点工况完成两种设备多维度对比测试。试验结果表明，MFC2032 装置具有毫秒级快速切换、多模式启动、全维度安全闭锁、工业远程通信等特性，切换速度、动作成功率比传统备自投设备要好很多。该装置适合于石化高连续生产工况的布置，提高炼化装置关键负荷回路供电稳定性，降低生产停工造成的损失。

【关键词】：0.4kV 配电系统；快速备自投；MFC2032；石化电气；电源切换

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.065

1 传统低压备用电源自动投入装置

1.1 工作原理

传统低压备用电源自动投入装置简称常规备自投，是石化行业 0.4kV 配电系统常用的电源冗余保障设备。石化企业的低压配电系统大多使用单母分段的典型接线方式，两路独立的市电进线分开运行，母联断路器处于分闸状态，两段母线各自由不同的进线电源供电。常规备自投主要的控制逻辑是故障单向跳闸切换。装置实时采集母线电压、进线电流模拟量信号，供电线路、上级配电设备发生故障或者电网瞬时晃电，造成工作母线电压跌落至设定阈值时，装置判定工作电源故障。经过固定延时闭锁判断之后，装置发出跳闸指令切断故障侧进线断路器，保证工作电源彻底断开之后再合闸母联断路器，依靠正常侧备用电源把两段母线全部负荷接过来，达成电源切换的目的。该装置依靠基础继电逻辑搭建控制回路，早期使用电磁继电器搭建硬件逻辑，现阶段主流为基于微机的数字化架构，控制逻辑固定，硬件运算平台配置较低，只能实现基本的失压投切功能。

1.2 主要运行特性及工况适配性

根据石化厂 0.4kV 配电负荷特点，一般情况下备自投运行特性如下。第一，切换方向单一，只能在故障工况下备用电源向故障母线单向投切，不能在正常工况下两路电源双向人工倒闸切换，设备运维操作灵活性差。第二，切换动作延时长，为了避免电动机的残压环流、非同期合闸损坏低压电气设备，装置使用固定的长延时判据，整个流程切换时间区间一般为 100ms~200ms。第三，无频差、相位实时监测，无法实现快速精准同期切换，仅能等待残压充分衰减后合闸。相位差超过 20° 时，合闸冲击电流将放大至额定数倍，造成母线电压骤降、上级过流保护误动，扩大故障范围。



图 1 石化厂 0.4kV 配电负荷备自投运行特性

石化厂 0.4kV 系统以风机、水泵、物料输送电机等连续性工艺负荷为主，电动机类感性负荷占比超过 70%。此类负荷断电后依靠机械惯性惰行，母线会产生衰减型残压。常规备自投需母线残压自然衰减到安全区域，虽然能够避免非同期的冲击故障，但是较长的供电中断很容易造成低压电机群停、工艺联锁跳闸，造成装置停工、介质堵管等生产事故，不能满足石化连续化生产工况。

1.3 固有技术缺陷

经过石化厂区现场长期运行的验证，传统的备自投在 0.4kV 低压系统中存在着明显的不足。一是功能场景单一，没有手动双向切换、故障录波、设备运行告警精细化等功能，只能满足基本的故障投切需求。二是抗干扰性差，石化厂区有变频器、大功率整流设备等电磁干扰源，常规装置容易造成采样异常、误告警、拒动作等问题。三是无分级合闸逻辑，不能进行快速、同期捕捉、残压分级切换，在极端工况下电源切换成功率较低。四是无完善的闭锁和保护联动逻辑，开关位置异常、电压回路断线时容易造成误动作，扩大停电范围。

2 金智科技 MFC2032 快速备用电源自投装置

2.1 设备基本概况

MFC2032 是由江苏金智科技公司研发的新型多功能快速备自投装置，专门为冶金、石化等高可靠性连续性工业场合设计，可以满足 400V、690V 全规格低压配电系统的需要，同时也能适应 6kV、10kV 中压配电系统的使用。以 DSP、ARM、CPLD 三种嵌入式硬件平台为依托，使用高精度 AD 采样芯片，

全封闭背插式工业结构，电力行业最高级别的 EMC 电磁兼容检测，适合于石化厂区强电磁干扰的环境。该装置冲破传统备自投逻辑架构的束缚，把电源切换、母线保护、故障录波、时钟同步、远程通信等诸多功能融合起来，硬件上设有抗干扰电路，软件里包含多级自检及闭锁逻辑，是传统低压备自投的更新换代产品，如今被普遍应用在石化炼化装置低压配电改造项目当中。

2.2 核心功能与运行逻辑

MFC2032 支持石化厂 0.4kV 系统单母分段、单母两种主流接线方式，可以适应石化低压配电典型的组网结构。装置核心运行功能分为起动逻辑、切换方式、合闸执行策略三级，具体的功能如下。

2.2.1 装置起动方式

装置配置四种标准化独立起动模式，覆盖石化厂区故障应急、日常运维全部作业场景，各种起动逻辑可以单独投退、互不影响。

(1) 保护起动，接入上级配电设备主保护接点，当电源侧发生故障保护动作时，立即触发电源切换，主要应用于短路、接地等严重的电气故障。

(2) 失压起动，即实时检测母线三相电压，当母线电压跌落至设定值并且进线没有负荷电流时，延时后切换，适合于电网晃电、上级电源失电的场景。

(3) 断路器变位起动，在正常运行工况下工作进线开关不被人工跳闸、回路没有负荷电流的时候，自动启动备用电源切换，避免开关误跳闸造成的停电事故。

(4) 手动起动，由人工通过装置就地操作发出切换指令，用在设备检修、负荷倒闸等无故障常态化电源切换作业上。

2.2.2 系统切换方式

根据作业场景区分并联、串联两种标准化切换方式，装置可以根据起动类型自动匹配控制逻辑。

(1) 并联切换只支持手动起动模式，校验开关两侧压差、频差、相位差合格后，先合闸备用电源开关，延时断开工作电源开关，实现负荷不间断无扰动倒闸。

(2) 串联切换，当系统出现事故工况时，自动执行，先分断故障工作电源开关，确认开关完全分断之后，按照工况匹配合闸策略投入备用电源，避免双电源非正常并列。



图2 快切方案

2.2.3 分级合闸实现方式

装置设置四级优先级自适应合闸策略，工况条件不满足时自动向下逐级降级执行，保证切换成功率。

(1) 快速合闸为最高优先级的动作模式，在 100ms 内完成整个合闸过程，适用于电源相位偏差较小的工况，最大程度上保持电机机组惯性转速。

(2) 同时捕捉合闸，快速合闸失败后自动投入，实时跟踪两侧电源相位，捕捉同相零点完成合闸，减小合闸冲击电流。

(3) 残压合闸，母线电机残压衰减到 20%~40%额定电压时执行合闸，适合于电源相位偏差大的故障场景。

(4) 长延时合闸为最低优先级模式，延时等待负荷自然卸载之后再合闸，适用于配备电源容量不足、不能承担电机群自启动的极端工况。

2.3 装置配套辅助功能

2.3.1 安全防护辅助功能

多维闭锁保护，PT 断线闭锁、开关位置异常闭锁、切换逻辑异常闭锁，防止由于设备采样故障、机构异常造成的误动作；母联成套继电保护为两段低压闭锁过流保护、合闸后加速保护，防止备用电源合闸到故障回路，扩大事故范围；

去耦合功能，在并联切换工况下工作开关拒动的时候，自动分闸已合闸备用开关，避免两路市电长期并列产生环流故障。

2.3.2 运行监测与告警功能

具备运行告警功能，当检测到装置硬件故障、母线失压、电压回路断线、开关位置异常、切换初始状态不满足时等异常，面板显示对应的报文信息；全过程故障录波记录切换动作前后电气波形、开关变位信号，满足石化厂事故复盘、电气试验溯源的需求；全量事件记录，即存储动作报告、告警日志、装置自检数据，可以长期保存配电系统的运行记录。

2.3.3 外部通信与管控功能

多协议通信适配搭载以太网、RS485 双通信接口，兼容 IEC60870-5-103、IEC61850、Modbus 工业主流规约；通过接入电气自动化监控系统，实现装置参数远程查看、装置动作记录等；高精度时钟同步采用硬件 IRIG-B 码和软件对时两种方式对时，全站电气设备的时间是一致的，有利于跨设备事故联动分析。

2.4 低压系统现场安装适配参数

装置标准适配石化 0.4kV 低压系统运行环境，工作环境温度区间为 -25℃~+60℃，满足炼化装置高温室内配电间运行条件。交流电压采样为 400V 线电压等级，控制回路直流工作电压为 220V。电压采样精度为 0.5 级，相位采样精度为 0.5°，

频率采样精度为 0.03Hz，全流程最短动作时延为 10ms，关键动作参数完全符合石化低压大惯性电机负荷切换标准。

3 MFC2032 装置和传统备自投装置的综合比较分析

3.1 基础性能参数对比

选取某石化厂循环水工段 0.4kV 单母分段配电系统进行对照试点应用，同一配电系统分两期投入两种备自投装置，采集现场运行数据得到参数对比表。

表 1 基础性能参数对比

对比项目	传统低压备自投装置	金智 MFC2032 快速备自投装置
电源切换方向	故障单向切换	双向自动+手动切换
全流程切换时长	110~200ms	10~100ms 分级可控
合闸控制模式	单一残压延时合闸	四级自适应合闸模式
主要起动方式	失压单一触发	失压、保护、变位、手动四模式
电磁兼容等级	常规工业等级	电力最高 EMC 等级
通信功能	无标准化接口	全规约无缝对接
故障数据记录	仅动作事件记录	全过程录波+事件溯源
现场应用负荷场景	小型轻载单一负荷	大功率电机集群工艺负荷

从参数对比可以看出，MFC2032 的动作速度、控制逻辑、场景适应性、智能化运维等各方面都比传统的备自投装置要好得多。

3.2 控制逻辑与安全性能对比

从控制逻辑上讲，传统的备自投采用开环固定的逻辑运行方式，没有多电气量的协同校验，只用电压、电流的阈值来判断切换条件，不能识别电源相位和频率差值，容易造成非同期合闸冲击低压母线。MFC2032 用多变量闭环协同判据，实时采集开关两侧电压、频率、相位三个参数，只有全部参数都满足整定阈值时才执行合闸动作，从逻辑上避免非同期合闸风险。

安全闭锁方面，传统的装置闭锁逻辑比较简单，只设基本的故障闭锁，电压回路断线、开关辅助接点异常等情况容易造成误动作。MFC2032 具有全方面的闭锁，即切换状态异常闭锁、PT 断线闭锁、开关位置异常闭锁、双电源并列闭锁，并且配有进线电流和开关辅助接点双重判定，防止由于接点接触不良造成的切换故障。装置独有的去耦合功能，在工作电源开关拒动时会自动跳开备用合闸开关，避免两路市电长时间并列运行造成低压环流短路事故。

3.3 石化厂区现场运行效果对比

从生产运维的角度来说，传统的装置没有远程上传的功能，故障发生之后需要运维人员到现场进行装置动作的原因排查，单次故障的复盘时间平均为 2.5h；MFC2032 的动作记录上传到电气自动化监控系统，实现跨设备进行故障分析，单次运维的排查时间被缩短到了 1h 之内，大大减少了低压配电运维的工作量。

3.4 经济性与场景适配总结

3.4.1 全生命周期经济性对比

根据设备全生命周期成本来比较两种装置的经济价值，分为前期采购成本、后期运维成本、生产事故损耗三大部分进行分析。硬件采购时 MFC2032 硬件配置高、集成多功能保护模块，单台设备的采购价格比传统的微机备自投装置要高一些，前期设备投资有少量增加。从运维成本角度来说，MFC2032 具有遥测遥信上传、设备自检告警等功能，不需要运维人员到现场去排查问题；装置的抗电磁干扰性能好，现场硬件故障率低，年度检修次数少，备品备件消耗比传统备自投低得多。事故损耗方面是两类设备的最根本的经济差距，石化炼化装置连续生产属性较强，工艺装置的启停、化工原料报废、装置联锁停工所造成的影响巨大。MFC2032 几乎 100% 的切换成功率可以避免由于电源故障造成的生产停机损失，抵消设备前期增量采购的成本，全生命周期综合经济效益明显高于传统的备自投装置。

3.4.2 现场工况场景适配性总结

根据石化厂区不同的配电回路负荷等级，整理出两种设备的适配应用场景。传统低压备自投功能简单、抗干扰能力差、切换速度慢，只能适应厂区三级非关键负荷回路，主要包括办公生活区配电、辅助仓库、机修车间等无连续生产要求的 0.4kV 配电支路，这类回路短时停电不会引起生产安全事故和经济损失。MFC2032 快速备自投适合石化一、二级关键工艺负荷，有炼化主装置动力回路、循环水系统、反应釜配套供电、消防应急动力配电等主要回路；依靠快速切换、多重闭锁的特点，可以满足石化行业的防爆、高连续、强电磁干扰的苛刻工作环境。

4 结论

石化企业 0.4kV 低压系统对供电连续性、设备抗干扰能力、故障应急切换可靠性有很高的行业标准。传统的低压备自投由于动作时间长、控制逻辑简单、功能单一、抗干扰能力差等固有的缺陷，不能满足石化核心工艺负荷供电保障的要求。金智科技 MFC2032 快速备用电源自投装置依靠高性能硬件平台、四级自适应合闸策略、全方位安全闭锁逻辑、工业级通信能力，满足石化低压系统供电需求。现场应用数据表明，该装置相比传统备自投装置，电源切换速度更快、动作更稳定，可以很好

地防止电压波动、电源故障造成的化工生产停机事故。

参考文献:

- [1] 欧永智.6kV 快切装置在 LNG 接收站的应用[J].设备管理与维修,2026,(7)144-147.
- [2] 钱一鸣,龚思敏.智能变电站继电保护方面备自投的应用及改进[J].电气技术与经济,2025,(12)444-446.
- [3] 江维,胡晓斌,蒋易雄,等.一起 110 kV 备自投装置延时动作造成负荷损失的案例分析及应对措施[J].江西电力,2025,49(5)68-71.