

火力发电厂灵活性改造中继电保护配置优化研究

殷卓良 王嘉攀 赵新宇 石聿萌 张宏毅

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古鄂尔多斯 014300

摘要: 本研究以达拉特发电厂多期机组灵活性改造为背景,系统分析灵活性改造对继电保护的影响,揭示现有配置在定值适应性、逻辑冗余度、通信可靠性及二次回路设计等方面的局限性。通过提出保护定值动态调整、逻辑简化与冗余优化、通信通道可靠性提升及二次回路智能化改造等策略,为火电机组深度调峰、快速启停等场景下的继电保护配置优化提供技术路径,提升电力系统灵活性与安全性。

关键词: 火力发电厂;灵活性改造;继电保护配置;动态调整;冗余优化;通信可靠性;二次回路智能化

引言

达拉特发电厂是蒙西电网的重要供电点,涉及进口亚临界、国产超临界和全国产化百万机组等类型,机组类型和控制系统多样性提供灵活性改造的典型情景。在“双碳”建设目标的推动下,火电机组需担负深度调峰和快速启停的重任,造成运行工况的复杂化,设备改造的频繁化和电网调度需求的动态化,在继电保护系统适应性,快速性和可靠性等方面提出了更高的要求。该研究以灵活性改造继电保护配置优化问题为重点,目的在于解决目前系统处理复杂运行条件下技术瓶颈问题。

一、火力发电厂灵活性改造对继电保护的影响

1. 机组运行工况变化

火力发电厂灵活性改造后,机组运行工况发生显著变化,对继电保护构成严峻挑战。在负荷调节方面,机组需在20%至100%额定负荷间频繁切换,导致发电机、变压器等设备电流与电压波动范围大幅扩大,尤其在低负荷运行时,设备参数偏离设计工况,可能引发保护装置灵敏度不足或误动风险。例如,深度调峰时锅炉燃烧稳定性下降,烟温、汽压等参数波动加剧,易导致脱硝系统、汽轮机调速系统等关联设备保护误判。同时,机组启停次数增加,快速启停过程中设备热应力变化剧烈,可能引发CT/PT特性偏移、绝缘老化加速等问题,进一步影响保护装置的采样精度与动作可靠性。此外,新能

源并网导致电网频率波动加剧,火电机组需频繁参与一次调频,加剧了发电机转子绕组温度波动,可能引发转子接地保护误动,对继电保护系统的快速响应与工况适应性提出更高要求。

2. 设备改造带来的新风险

在火力发电厂灵活性改造中,设备改造带来的新风险不容忽视,新增设备与既有系统的兼容性问题日益凸显,例如,为提升机组调节能力而引入的先进储能装置、快速响应调速系统等,其通信协议、控制逻辑若与原有继电保护装置不匹配,可能导致数据交互异常或控制指令冲突,引发保护误动或拒动。同时,部分老旧设备在改造中面临适应性难题,一、二期进口机组的部分保护装置因年代久远,硬件老化、软件版本过低,难以兼容新型传感器或通信技术,改造中若强行接入新系统,可能因信号失真、处理延迟等问题,导致保护动作不可靠。此外,设备改造过程中的施工风险亦需警惕,二次回路改造时,若接线错误、端子排松动或接地不良,可能引入寄生回路或电磁干扰,影响保护装置采样精度,甚至引发误动。另外,新增设备与老旧设备的接口处理不当,如电缆屏蔽层接地不规范、光缆熔接质量差等,会削弱系统抗干扰能力,在复杂电磁环境下,保护装置可能因噪声干扰误判故障,威胁机组安全运行。因此,设备改造需统筹兼顾兼容性、适应性与施工质量,确保继电保护系统在灵活性改造后仍能可靠运行。

3. 电网调度要求变化

在火力发电厂灵活性改造进程中,电网调度要求的变化正深刻重塑继电保护的运行边界。新能源大规模并网导致电网功率波动加剧,火电机组需承担更频繁的调峰调频任务,调度指令可能要求机组在数分钟内完成负

作者简介: 殷卓良(1996.12——),汉族,内蒙古自治区乌海市人,本科学历,助理工程师,主要从事电气工程及其自动化方面的研究工作。

荷大幅调整，这使发电机、变压器等设备电流与电压的瞬态变化速率显著加快，保护装置需在更宽的动态范围内精准识别故障特征，否则易因暂态信号干扰误判为区内故障。同时，电网对备用容量的实时调配需求提升，火电机组需维持更高比例的热备用，频繁启停过程中设备热应力骤变可能引发CT/PT暂态特性偏移，导致差动保护、距离保护等采样失真。此外，调度对故障隔离速度的要求提高，要求继电保护在毫秒级内完成故障定位与隔离，这对保护装置的逻辑优化、通信通道延时控制提出更严苛挑战，任何环节的延迟都可能扩大故障影响范围，威胁电网安全稳定运行。

二、现有继电保护配置的局限性分析

1. 保护定值适应性不足

传统保护定值多基于机组额定工况或最大运行方式整定，而灵活性改造后机组负荷大幅波动，低负荷运行时设备电流、电压远低于设计值，导致部分保护灵敏度下降，例如变压器差动保护可能因电流幅值过低而无法有效识别轻微匝间短路。高负荷快速爬坡或深度调峰时，设备参数瞬态变化剧烈，若定值未考虑暂态过程，可能因电流谐波、CT饱和等因素引发保护误动。此外，新能源并网导致电网短路容量降低，故障电流特征改变，传统基于最大短路电流整定的定值可能失去选择性，扩大停电范围。同时，机组频繁启停使设备热状态不断变化，影响保护装置的采样精度，若定值未动态调整，可能因热膨胀导致CT/PT误差累积，最终引发保护拒动或误判，威胁机组与电网安全。

2. 保护逻辑冗余度高

在火力发电厂灵活性改造进程中，保护逻辑冗余度高的问题成为制约系统可靠性的关键因素。传统保护逻辑为追求高安全性，常采用多层闭锁与冗余判据，例如母线保护中叠加电压闭锁、电流突变量闭锁及差动电流量门槛值等多重条件，虽能降低误动风险，但在灵活性改造后机组工况复杂化的情况下，多层逻辑的叠加导致保护动作时间延长，可能错失故障快速隔离的最佳时机。此外，部分冗余逻辑存在功能重叠，例如发电机失磁保护中同时配置阻抗判据与无功反向判据，两者在低励磁故障时特征相似，却需分别整定与校验，增加了调试难度与维护成本。同时，冗余逻辑的复杂性还体现在信号交互环节，例如跨间隔保护需协调多个装置的闭锁信号，通信延时或信号丢失可能引发逻辑误判，导致保护拒动或误动。因此，在灵活性改造中需重新评估保护逻辑的必要性，去除冗余环节，提升动作效率。

3. 通信通道可靠性问题

在火力发电厂灵活性改造背景下，通信通道可靠性问题成为继电保护系统稳定运行的薄弱环节。灵活性改造引入的分布式保护架构与智能终端，依赖高速通信网络实现信息实时交互，但火电厂复杂电磁环境易对通信信号造成干扰，例如高压开关操作产生的暂态过电压可能通过空间耦合侵入通信线路，导致数据帧丢失或误码率上升，进而引发保护装置采样不同步或闭锁信号失效。此外，通信介质的老化与施工质量问题亦不容忽视，部分老旧厂站的光缆接头因长期暴露于高温、振动环境，可能出现衰减增大或断纤现象，而新增通信设备若未严格遵循屏蔽与接地规范，可能形成电磁干扰路径，削弱通道抗扰能力。同时，灵活性改造中保护装置与调度主站的通信协议升级若未充分测试，可能因兼容性问题导致数据解析错误，延误故障处理。因此，需通过增强通道冗余配置、优化电磁兼容设计及强化协议测试验证，提升通信可靠性以支撑继电保护快速精准动作。

4. 二次回路设计缺陷

在火力发电厂灵活性改造中，二次回路设计缺陷成为影响继电保护可靠性的重要隐患。部分老旧机组二次回路设计年代久远，存在寄生回路问题，例如电缆绝缘老化或施工遗留的隐蔽接线，可能形成电流分流路径，导致保护装置采样值偏离实际，尤其在低负荷运行时，微小误差可能被放大，引发差动保护误动或距离保护拒动。同时，回路设计未充分考虑灵活性改造后的设备增容与布局调整，新增设备接入时可能因端子排容量不足或接线空间受限，被迫采用临时跨接方式，增加接触不良风险，而端子排紧固螺丝松动、氧化等问题在机组振动与温湿度变化下易加剧，造成信号传输中断。此外，二次回路抗干扰设计薄弱，未对控制电缆与动力电缆分层敷设，强电干扰可能通过电容耦合侵入弱信号回路，导致保护装置误发信号或逻辑紊乱。因此，需通过全面排查寄生回路、优化端子排布局与加强电磁屏蔽设计，提升二次回路安全性与稳定性。

三、继电保护配置优化策略

1. 保护定值动态调整策略

在火力发电厂灵活性改造背景下，保护定值动态调整策略成为保障继电保护适应机组复杂工况的关键。传统定值多基于固定工况整定，难以应对负荷频繁波动、新能源并网带来的电网特性变化，需构建基于实时数据的动态调整机制。例如，通过在发电机、变压器等关键设备加装高精度传感器，实时采集电流、电压、温度等

参数,结合机组负荷率、新能源出力占比等电网运行信息,利用智能算法动态计算最优保护定值。当机组深度调峰时,电流幅值降低,可适当降低差动保护启动门槛值,提升灵敏度;而在高负荷爬坡阶段,针对CT饱和风险,则动态提高制动系数,避免误动。同时,需建立定值调整的闭锁逻辑,例如在机组启停、故障穿越等特殊工况下暂停调整,防止定值震荡。此外,动态调整策略需与调度系统协同,确保调整后的定值与电网安全约束兼容,实现保护性能与系统稳定性的平衡。

2. 保护逻辑简化与冗余优化

在火力发电厂灵活性改造中,保护逻辑简化与冗余优化是提升继电保护系统效能的核心命题。传统保护逻辑为追求绝对安全,常陷入过度冗余的困境,例如母线保护中叠加多重闭锁判据与信号冗余校验,虽能降低误动概率,却在机组频繁启停、负荷快速切换时因逻辑链条过长导致动作延迟,错失故障隔离窗口。优化需聚焦于功能本质,剥离冗余环节,例如对发电机失磁保护,可整合阻抗轨迹与无功功率特征,构建基于动态边界的复合判据,替代原有的多条件与门逻辑,在保留核心判别能力的同时缩短动作时间。同时,需通过风险量化分析平衡安全性与快速性,例如对变压器差动保护,在CT饱和和高风险工况下动态引入二次谐波制动,而在正常运行时简化制动逻辑,避免不必要的延时。此外,简化后的逻辑需强化自诊断与容错能力,例如利用多源信息交叉验证替代单一闭锁信号,确保在部分逻辑失效时仍能可靠动作,实现安全与效率的协同进化。

3. 通信通道可靠性提升方案

在火力发电厂灵活性改造中,通信通道可靠性提升方案是保障继电保护信息交互精准高效的基石。传统通信架构在复杂工况下易受电磁干扰与传输延迟影响,需构建多维度可靠性增强体系。例如,采用双环网冗余拓扑替代单链式结构,当主路径因光缆断裂或接口故障中断时,备用通道可在毫秒级内自动切换,确保保护指令无损传输。同时,针对强电磁干扰环境,对通信电缆实施全屏蔽与接地优化,在高压开关场等强辐射区域敷设金属导管或采用光纤复合低压电缆,将电磁耦合干扰衰减至安全阈值以下。此外,引入自适应编码调制技术,根据信道质量动态调整纠错码率与调制阶数,在弱信号条件下仍能维持数据完整性。为应对协议兼容性问题,在保护装置与调度主站间部署协议转换网关,实现异构系统间的透明通信。最终,通过冗余拓扑、电磁防护、智能编码与协议适配的协同作用,构建高鲁棒性的通信通道,支撑继电保护在灵活性改造中的稳定运行。

4. 二次回路改造与智能化管理

在火力发电厂灵活性改造进程中,二次回路改造与智能化管理是提升继电保护系统可靠性与可维护性的关键举措。传统二次回路因设计冗余、接线复杂、抗干扰能力弱等问题,难以适应机组频繁启停与负荷大幅波动的运行需求,需实施系统性改造与智能化升级。例如,通过模块化设计重构二次回路,将分散的端子排、继电器整合为标准化智能终端,减少人工接线误差与寄生回路风险,同时采用预制电缆与即插即用接口,缩短改造周期并提升施工规范性。针对电磁干扰问题,对控制电缆实施分层隔离与屏蔽优化,在强电回路与弱信号间增加金属隔板,并采用双绞线或光纤传输敏感信号,将干扰衰减至设备可承受范围。此外,部署智能巡检系统,利用物联网传感器实时监测端子排温度、绝缘电阻与回路通断状态,结合大数据分析预测潜在故障,实现从被动检修到主动预防的转变。同时,构建数字孪生模型,将二次回路物理结构与逻辑关系映射至虚拟空间,通过仿真测试验证改造方案并优化回路参数,避免现场调试风险。最终,通过硬件重构、电磁防护、智能监测与数字孪生的协同应用,打造具备自感知、自诊断、自优化能力的二次回路体系,为火电厂灵活性改造提供坚实的技术支撑。

结论

火力发电厂灵活性改造对继电保护提出更高要求,需通过保护定值动态调整、逻辑简化与冗余优化、通信通道可靠性提升及二次回路智能化改造等策略,提升系统适应性、快速性与可靠性。未来需进一步研究人工智能、物联网等新技术在继电保护中的应用,推动火电机组向智能化、灵活化方向发展。

参考文献

- [1]倪雪晶.火力发电厂继电保护装置故障检测及处理方法探讨[J].科学与信息化,2024(11):122-124.
- [2]孙建东.火力发电厂提升继电保护运行可靠性的技术研究[J].Engineering Management & Technology Discussion,2024,6(9).
- [3]亢大鹏.火力发电厂继电保护可靠性因素分析及改善措施[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(3):4.
- [4]石会芳.影响火力发电厂继电保护可靠性因素分析及改善措施[J].户外装备,2023:426.
- [5]闫中显.火力发电厂继电保护二次回路调试技术分析[J].2024(2):37-39.