

Research on Optimization of Relay Protection Configuration and Fault Handling Technology for Factory Power Supply and Distribution System

Jianqiang Li

Hebei Dahe Handan Steel Design Institute Co., Ltd., Handan, Hebei, 050000, China

Abstract

In response to the problems of overlapping relay protection configurations, uncoordinated setting values, and reliance on manual experience in the 10 kV power supply and distribution system of Factory A, protection configuration optimization and fault handling process design were carried out focusing on short-circuit, overload, and grounding faults. By reducing redundant protection functions, improving current instantaneous protection, time-limited overcurrent protection, inverse-time overcurrent protection, and zero-sequence protection configurations, and integrating fault detection, signal transmission, protection action, fault isolation, and power restoration into a closed-loop process, the selectivity, rapidity, and operational reliability of the system were enhanced. Data show that the average response time of the optimized system decreased from 1.2 seconds to 0.5 seconds, the utilization rate of protection devices increased from 75% to 95%, and the accuracy rate of fault handling increased from 90% to 99%, verifying the practical application effect of the optimization scheme.

Keywords

power supply and distribution system; relay protection; fault handling; protection configuration; response time

工厂供配电系统继电保护配置优化及故障处置技术研究

李建强

河北大河邯钢设计院有限公司, 中国·河北 邯郸 050000

摘要

针对A工厂10 kV供配电系统继电保护配置重叠、定值配合不协调以及故障处置依赖人工经验等问题,围绕短路、过载和接地故障开展保护配置优化与处置流程设计。通过压缩重复保护功能、完善电流速断、定时限过流、反时限过流及零序保护配置,并将故障检测、信号传输、保护动作、故障隔离和恢复供电纳入闭环流程,提升系统选择性、速动性和运行可靠性。数据表明,优化后系统平均响应时间由1.2 s降至0.5 s,保护装置利用率由75%提高至95%,故障处置准确率由90%提高至99%,验证了优化方案的实际应用效果。

关键词

供配电系统; 继电保护; 故障处置; 保护配置; 响应时间

1 引言

工厂供配电系统直接关系连续生产设备的稳定运行,尤其在10 kV配电网络中,馈线、母联、变压器及低压配电回路之间联系紧密,一旦继电保护配置不合理,容易引发越级跳闸、误动作、拒动或停电范围扩大等问题。随着生产负荷规模增加,电动机启动、电缆接地、短路冲击及负荷转供等运行工况更加复杂,传统依赖固定定值和人工处置经验的保护方式已难以满足快速隔离和可靠供电要求^[1]。因此,有必要结合工厂实际运行记录,对继电保护装置功能、动作边

界、定值配合及故障处置流程进行系统优化。本文以A工厂10 kV供配电系统为研究对象,分析现有保护运行问题,提出面向典型故障类型的保护配置方案,并构建标准化故障处置流程,为提高工厂供配电系统安全性、连续性和运行管理水平提供参考。

2 工厂供配电系统继电保护现状与问题诊断

鉴于A工厂10 kV供配电系统长期承担连续性生产负荷,其继电保护配置已形成以线路过流保护、变压器差动保护、低压侧零序保护以及母联备自投保护为主体的结构。过流保护主要分布在10 kV进线柜、馈线柜以及车间变电所出线回路,用于对相间短路以及过负荷异常进行动作判断;零序保护集中布置在低压配电干线以及电缆分支回路,用于识别单相接地故障电流。现场核查发现,该系统现有12套保

【作者简介】李建强(1981-),男,中国河北邯郸人,本科,高级工程师,从事电气工程、工厂供配电研究。

护装置中有3套存在功能重叠,主要表现为馈线柜过流段定值以及下级配电单元短延时保护范围交叉,造成保护资源占用增加,同时也把后续定值整定工作变得更加复杂。

进一步观察A工厂近两年故障记录可以发现,现有保护动作链路在选择性以及速动性方面暴露出较明显的不协调。系统故障平均响应时间为1.2 s,已经高于行业常用0.8 s控制要求,主要缘由囊括级差配合裕度设置偏大、通信告警传递链路较长以及人工确认环节嵌入过多。对于电缆接地、馈线短路等高频故障场景,运行人员尚未把故障定位、隔离、负荷转供以及设备复归形成标准化闭环流程,处置动作依赖班组经验,容易出现隔离范围扩大以及恢复供电滞后的情况。由此来看,A工厂供配电系统继电保护问题并非单一装置性能不足,而是保护配置、定值配合以及故障处置流程之间缺少协同约束所形成的系统性缺陷。

3 工厂供配电系统继电保护配置优化与故障处置流程设计

3.1 继电保护配置优化的原则与目标

鉴于A工厂10 kV供配电系统承担连续性生产任务,继电保护配置优化需把供电可靠性置于核心位置,围绕故障快速识别、选择性切除以及运行方式适应开展保护功能调整。对于感性负荷占比达到65%的生产用电结构,应重点辨析电动机启动电流、变压器励磁涌流以及短时冲击负荷对过流元件的影响,避免保护定值偏低引发误动作,也需防止定值偏高造成故障切除延迟。优化过程中应压缩重复保护功能,理顺进线、母联、馈线以及车间变电所之间的动作边界,使保护范围能够相互衔接而不发生大面积交叉。

经济性原则需要贯穿装置选型、功能整合以及运行维护全过程。A工厂现有12套保护装置中存在3套功能重叠,优化时可结合设备状态以及回路重要程度,对具备条件的保护单元进行功能合并,保留必要的后备保护以及故障录波、通信告警功能,减少重复设备投入和定值维护工作量。同时,配置方案应具备较强的适应性,能够根据负荷转供、母线运行方式以及检修状态变化,支持保护定值组切换和闭锁逻辑调整,避免固定整定方案难以适应生产工况变化。

结合现有故障记录以及运行管理需求,本研究把故障响应时间控制在0.6 s以内,把保护装置利用率提高20%,并将故障处置准确率设定为98%以上。相关目标并非单纯追求保护动作速度,而是要求装置动作、告警传递、故障定位以及负荷转供形成协调链路。优化重点应放在馈线短路和电缆接地等典型故障场景,借助分层保护、通信联动以及标准化处置权限配置,减少人工确认环节对故障隔离时效的影响,为后续故障类型化配置以及处置流程设计提供边界条件。

3.2 基于故障类型的继电保护配置方案设计

A工厂10 kV供配电系统的保护配置应当按照故障电流特征、设备承受能力以及供电连续性要求进行差异化调

整。短路故障具有电流突增和故障发展迅速的特性,宜把电流速断保护作为近端故障的快速切除功能,把定时限过流保护作为速断保护未覆盖区域的后备保护。进线、馈线以及车间变电所出线之间应当依据供电层级重新划分保护范围,合理设置动作时限级差,避免上级开关先于故障所在回路动作。

过载故障通常表现为负荷电流持续超过设备允许值,其故障电流与短路电流存在明显差异。针对感性负荷占比较高的生产用电结构,馈线及变压器低压侧宜选用反时限过流保护,使保护动作时间随过载程度增加而缩短,同时避开电动机启动以及变压器励磁过程形成的短时冲击电流。对于重要生产回路,还应结合热积累特性设置过负荷告警和跳闸两级功能,把持续性负荷异常与突发性短路故障区分开来。

接地故障保护应当根据中性点接地方式、线路长度以及零序电流分布进行配置。低压侧干线和电缆分支回路宜设置零序电流保护,采用独立零序电流互感器采集接地故障信号,并把保护动作范围限定在故障支路内。10 kV馈线可将零序过流保护作为接地故障主保护,进线侧保留延时后备功能;对于重要车间回路,则应接入故障告警、跳闸信号以及开关状态信息,便于运行人员依据故障类型开展隔离和负荷转供。

3.3 故障处置流程的优化设计

针对A工厂10 kV供配电系统故障处置依赖人工判断、信息传递链路较长的问题,应当把故障检测、信号传输、保护动作、故障隔离以及恢复供电纳入统一流程。故障检测环节由进线柜、母联柜以及馈线柜中的电流互感器、零序电流互感器和智能保护装置共同完成,装置依据电流突变量、零序电流以及断路器状态识别异常,并把故障类型、故障回路和动作时限同步写入事件记录。信号传输环节依靠站控层通信网络,把保护启动、跳闸命令、开关变位以及母线失压信息传送到监控终端,告警信息按照故障等级进行分类,减少重复确认造成的时间损耗。

保护动作环节应当按照整定范围完成故障切除。以10 kV母线短路故障为例,母线保护或进线保护识别到故障后,向相关断路器发出跳闸指令,并对母联备自投逻辑实施闭锁,避免故障母线带故障转供。故障隔离环节由开关状态核验、无压确认以及隔离开关操作构成,监控系统依据预设联锁条件生成操作序列,运行人员仅需对关键权限进行确认,防止误合闸和带故障送电。故障点完成隔离后,系统结合备用电源容量、重要负荷等级以及母线运行方式,形成负荷转供路径,对具备转供条件的车间回路实施分级送电,对连续生产设备保留必要的供电支撑。

恢复供电环节还应包含保护装置复归、故障录波文件保存、动作信号核对以及运行方式更新。整个处置过程应当形成可追溯的闭环记录,使检测信息能够对应保护动作,使隔离结果能够对应开关状态,使恢复操作能够对应负荷

变化。

4 工厂供配电系统继电保护优化效果评估

4.1 保护性能指标体系构建

鉴于A工厂10 kV供配电系统承担连续性生产负荷,保护性能评价应围绕响应时间、动作准确率以及运行可靠性建立统一指标体系。响应时间从保护装置识别故障起始量计至断路器完成分闸为止,重点考察电流速断、定时限过流以及零序保护对故障的切除效率,同时把通信传输、出口继电器动作以及开关分闸过程纳入计时边界,避免评价结果仅反映装置内部动作速度。

动作准确率主要反映保护装置对故障类型、故障回路以及动作范围的判别能力,可依据正确启动、正确跳闸和故障隔离结果进行综合判定。评价过程中,应把误动作、越级跳闸以及故障切除范围扩大等情形归入非准确动作,结合馈线短路、电缆接地、母线失压等典型场景检查保护选择性。该指标能够反映定值配合、闭锁逻辑以及信号传递之间的协调程度。

可靠性用于衡量保护系统在实际动作任务中的稳定履职能力,采用误动次数以及拒动次数进行计算,计算公式如下:

$$R = 1 - \frac{\text{故障误动次数} + \text{拒动次数}}{\text{总动作次数}}$$

其中, R 表示继电保护可靠性,故障误动次数是指无须保护动作时发生的错误动作次数,拒动次数是指保护应当动作而未能动作的次数,总动作次数是统计周期内保护装置承担的全部有效动作次数。三项指标相互补充,共同覆盖故障切除速度、动作判别质量以及装置持续运行能力。

4.2 基于仿真的保护性能验证

为考察优化后保护配置在不同运行状态下的适应性,借助PSCAD/EMTDC建立A工厂10 kV供配电系统电磁暂态模型,按照进线、母联、馈线以及车间变电所的实际连接关系设置线路参数、变压器参数、负荷特性以及断路器动作逻辑。模型中重点保留感性负荷启动电流、变压器励磁涌流以及备用电源切换过程,使仿真工况能够覆盖连续生产负荷下的典型运行变化^[2]。

仿真场景围绕馈线相间短路、母线短路、电缆单相接地以及持续过载进行设置,并对不同故障位置、故障持续时间以及运行方式下的保护启动信号、跳闸出口信号、断路器分闸状态和备自投闭锁状态进行记录。分析过程中,将保护装置识别故障至断路器完成分闸作为响应时间判据,把故障回路正确切除、非故障回路保持运行以及故障隔离范围符合整定要求作为动作准确性判据,再结合故障录波和事件顺序记录,对优化方案的选择性、速动性以及通信联动效果开展综合研判^[3]。

4.3 实际运行效果分析

A工厂把优化后的继电保护配置以及故障处置流程投入10 kV供配电系统运行,连续跟踪6个月,统计保护动作记录、开关变位信息、故障录波文件以及运行值班台账,并按照响应时间、保护装置利用率和故障处置准确率开展前后对比。统计期间,系统平均响应时间由优化前的1.2 s降至0.5 s,说明电流速断、零序保护以及通信联动的配合关系得到改善,人工确认环节对故障隔离速度的影响有所减弱。

从设备功能发挥情况来看,保护装置利用率由75%提高至95%,原有重复保护单元经过功能整合后,定值组切换、故障告警以及后备保护功能得到更充分运用。故障处置准确率由90%提高至99%,馈线短路、电缆接地以及母线失压等场景下的故障回路识别、隔离范围判断和负荷转供操作更加一致。具体运行数据见表1。

表1 某工厂继电保护优化前后运行效果对比表

指标名称	优化前数值	优化后数值	提升幅度
平均响应时间	1.2 s	0.5 s	降低 58.3%
保护装置利用率	75%	95%	提高 20 个百分点
故障处置准确率	90%	99%	提高 9 个百分点

综合6个月运行记录,优化方案在缩短故障切除时间、减少保护功能闲置以及规范现场处置行为方面形成了较为稳定的作用。尤其是在连续生产负荷保持较高水平的运行条件下,保护动作与故障隔离之间的衔接更加紧密,非故障回路受到的影响得到控制,表明分层保护配置以及标准化处置流程能够适应A工厂现有供配电运行方式。

5 结语

A工厂10 kV供配电系统继电保护优化表明,单纯增加保护装置并不能有效提升运行质量,关键在于明确各级保护动作范围,消除功能重叠,建立与运行方式相匹配的定值和闭锁逻辑。通过按故障类型配置保护功能,并将告警、跳闸、隔离、转供和复归过程统一纳入闭环管理,系统故障处置由经验驱动转向流程驱动。运行结果说明,该方案能够缩短故障切除时间,减少非故障回路受影响范围,提高保护装置利用水平和现场处置一致性。后续可进一步结合在线监测数据和智能诊断算法,对保护定值自适应调整和故障预测能力进行深化研究。

参考文献

- [1] 张鸿晟,陈蔚,周小林.炼化企业高压供电系统继电保护定值异常诊断方法[J].电工技术,2024,(20):199-201.
- [2] 靳松.组群贯通供电方式牵引变电所进线继电保护方案研究[J].电气应用,2024,43(12):75-82.
- [3] 刘铝,唐施,阳国燕,何邦权,孙弘.安全生产风险管理体系在继电保护工作中的应用[J].广西电力,2024,(12):30-33.