

企业内部电网短路容量变化对保护配合的影响及检修对策

颜 飞

葫芦岛锌业股份有限公司 辽宁 葫芦岛 125003

摘要: 随着企业生产规模的扩大、分布式能源的接入以及电网结构的不断调整,企业内部电网(以下简称“厂网”)的短路容量呈现显著动态变化特征。短路容量作为衡量系统强度的关键指标,其变化直接影响继电保护装置的動作特性与整定配合关系。本文首先阐述了短路容量的基本概念及其在厂网中的决定因素;其次,深入分析了短路容量增大或减小对电流保护、距离保护及差动保护等主要保护类型配合关系的具体影响机制,揭示了因短路容量变化导致保护误动、拒动或选择性丧失等故障风险;最后,从规划设计、运行维护和检修管理三个维度,提出了包括短路容量动态评估、保护定值自适应整定、设备选型优化及智能化运维在内的系统性对策,旨在提升企业电网的安全性、可靠性和灵活性。

关键词: 企业内部电网; 短路容量; 继电保护; 保护配合; 定值整定; 检修对策

引言

企业内部电网是保障工业生产连续性和安全性的核心基础设施。近年来,随着产业结构升级、节能减排政策推进以及新能源技术的发展,厂网呈现出电源多元化(如自备电厂、光伏、储能)、负荷波动加剧、网络拓扑频繁变更等新特点。这些变化使得厂网的短路容量不再是一个静态参数,而成为一个随时间、运行方式和外部电网状态动态变化的变量。短路容量(Short-Circuit Capacity, SCC)是指在电力系统某一点发生三相短路时,系统所能提供的最大短路电流有效值与该点额定电压的乘积,通常以MVA为单位。它直接反映了该节点的系统强度,是继电保护装置整定计算的基础参数之一。传统的保护整定往往基于最不利或最典型运行方式下的短路容量进行,忽略了其动态变化带来的潜在风险。当短路容量发生显著变化时,原有的保护定值可能不再满足选择性、灵敏性和速动性的要求,导致保护装置在故障时出现误动、拒动或越级跳闸,严重威胁设备安全 and 生产连续性。因此,深入研究短路容量变化对保护配合的影响机理,并制定科学有效的检修与管理对策,具有重要的理论价值和现实意义。

1 短路容量的决定因素及其在厂网中的变化趋势

1.1 短路容量的定义与计算

短路容量 S_{sc} 可表示为:

$$S_{sc} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k$$

其中, U_n 为系统额定线电压(kV), I_k 为三相短路电流有效值(kA)。在实际工程中,短路容量常通过系统等效阻抗 Z_{ep} 计算,即, $S_{sc} = U_n^2 / Z_{ep}$ 可见其与系统等效阻抗成反比。系统越“强”,即等效阻抗越小,短路容量越大。

这一关系构成了后续分析保护行为变化的物理基础。

1.2 厂网短路容量的主要影响因素

企业内部电网的短路容量受多重因素交织影响。首先,外部电网接入点的状态变化起着决定性作用,例如上级变电站扩容、输电线路由双回改为单回运行,或区域电网解环操作,均会显著改变注入厂网的短路电流水平。其次,厂内电源结构的演变日益重要,新增的自备燃气轮机、屋顶光伏阵列或储能变流器在故障瞬间均可向短路点注入可观的故障电流,尤其在靠近这些分布式电源的位置,局部短路容量可能急剧上升^[1]。此外,厂网自身的运行方式调整,如母线由分段运行转为并列运行、新增联络变压器投运或原有主变退出检修,都会重构系统阻抗网络,进而改变各节点的短路容量分布。值得注意的是,大容量异步电动机群在短路初期可提供反馈电流,虽持续时间短暂,但在某些高精度保护场景下亦不可忽略。同时,大型无功补偿装置(如固定电容器组或动态SVG)的投入会降低系统感抗,间接提升短路容量。这些因素共同作用,使得厂网短路容量呈现出复杂且非线性的动态特征。

1.3 短路容量变化趋势

综合来看,现代企业电网的短路容量正经历深刻转型。一方面,在能源转型驱动下,分布式可再生能源和自备电源的广泛接入,叠加主干电网互联程度的提高,使得多数节点的短路容量呈现上升趋势;另一方面,在特定运行工况下,如外部电网计划检修、限电措施实施或主动孤岛运行策略启动时,厂网可能脱离大电网支撑,导致系统强度骤降,短路容量显著减小。这种“双向波动、局部激增”的变化模式,打破了传统保护整定所依赖的

静态假设,对继电保护系统的鲁棒性提出了前所未有的挑战。

2 短路容量变化对继电保护配合的影响分析

继电保护的“四性”原则——选择性、速动性、灵敏性与可靠性——高度依赖于对短路电流水平的准确预判。一旦短路容量偏离整定基准,保护配合关系便可能失衡,引发连锁故障。

2.1 对电流保护的影响

2.1.1 定时限过电流保护(III段)

定时限过电流保护(III段)作为典型的后备保护,其动作电流按躲过最大负荷电流整定,动作时间则遵循阶梯配合原则。当系统短路容量显著增大时,故障电流幅值大幅提升,可能导致上级保护的III段在下级主保护尚未完成动作前就已启动,从而破坏保护的选择性,造成不必要的扩大停电范围。反之,若短路容量因孤岛运行等原因大幅减小,则最小运行方式下的短路电流可能低于保护装置的灵敏度门槛(通常要求灵敏系数不小于1.3至1.5),致使保护在区内故障时无法可靠动作,形成拒动风险,严重威胁设备安全。

2.1.2 电流速断保护(I段)与限时电流速断(II段)

对于电流速断保护(I段)及其延时配合的限时电流速断(II段),短路容量的变化同样带来严峻挑战。I段定值需可靠躲过本线路末端最大短路电流,而II段则需与相邻下级线路的I段定值实现时间-电流配合。当短路容量增大后,下级线路末端的短路电流可能意外超过上级I段的整定值,导致上级保护越级跳闸,直接中断上级供电单元^[2]。更隐蔽的风险在于,短路容量的增加会压缩II段与下级I段之间的配合裕度,极端情况下甚至出现定值交叉,即上级II段时间虽长但电流定值反而低于下级I段,彻底丧失选择性。某化工厂在新增燃气轮机后发生的全厂停电事故,正是源于此类配合失效。

2.2 对距离保护的影响

距离保护通过测量故障回路的视在阻抗来判断故障位置,其动作边界受系统阻抗角和大小双重影响。当短路容量增大,即系统等效阻抗减小时,在相同故障点下,保护装置所测得的测量阻抗会系统性偏小,导致保护动作特性曲线向远离原点方向偏移,实际保护范围超越整定范围,可能发生对下一级线路的误动,即所谓“超越”现象。相反,当短路容量减小、系统阻抗增大时,测量阻抗偏大,保护范围收缩,可能出现区内故障无法被切除的“欠范围”问题。此外,系统阻抗角的变化还会影响方向性距离元件的极化电压相位,进而干扰其对故障方向的正确判别,尤其在弱馈或反向系统强度不对

称的情况下,误判风险显著增加。

2.3 对差动保护的影响

理论上,差动保护基于基尔霍夫电流定律,仅响应保护区内部的电流不平衡,对外部短路容量变化应具有天然免疫性。然而在工程实践中,短路容量的剧变仍会通过间接途径影响其性能。最突出的问题是电流互感器(CT)饱和。当短路容量急剧增大,短路电流的陡峭上升沿可能导致CT铁芯深度饱和,二次侧输出电流严重畸变甚至出现截断,使得差动继电器检测到虚假的差流而误动。此外,在比率制动式差动保护中,若保护区两侧系统强度差异悬殊(例如一侧连接大电网,另一侧连接小型分布式电源),在区外故障时,穿越电流的幅值和相位可能严重不对称,削弱制动电流的有效性,降低保护的制动比,增加误动概率。因此,即便采用差动原理,也不能完全忽视短路容量变化带来的次生影响。

2.4 对自动重合闸与备自投的影响

短路容量的变化还延伸影响到自动装置的可靠性。短路容量增大意味着故障电弧的能量更高、去游离过程更困难,这会显著降低自动重合闸的成功率,尤其是在永久性故障频发的工业环境中。而在短路容量减小的弱系统场景下,故障清除后的系统残压水平较低,频率和电压波动剧烈,使得备用电源自动投入(备自投)装置难以满足“检无压”或“检同期”的切换条件,导致切换失败,延长恢复供电时间,影响生产连续性。这些看似边缘的环节,实则与短路容量紧密关联,共同构成厂网安全运行的完整链条。

3 应对短路容量变化的检修与管理对策

面对短路容量动态变化的挑战,企业需构建覆盖全生命周期的系统性应对策略,将风险管控贯穿于规划、运行与检修各环节。

3.1 规划设计阶段:源头控制与弹性设计

在厂网规划设计之初,就应摒弃静态思维,建立包含多种典型及极端运行方式(如正常联网、计划检修、孤岛运行、新能源满发等)的短路容量动态模型库。以此为基础,进行保护配置的弹性设计。对于关键供电回路,应优先采用对系统阻抗依赖较小的纵联保护,如光纤电流差动保护,以从根本上规避短路容量变化带来的配合难题^[3]。同时,在一次设备选型上,必须以最大预期短路容量为基准,确保断路器的开断能力、电流互感器的准确限值系数(ALF)等参数留有充分裕度,避免因设备性能不足而限制保护功能的发挥。

3.2 运行维护阶段:智能监测与自适应整定

进入运行阶段,应部署先进的在线监测手段。利用

同步相量测量单元(PMU)采集的高精度数据,可实时估算系统等效阻抗,进而动态感知短路容量的变化趋势。在此基础上,推动保护定值从“静态固化”向“自适应”演进。通过与厂站监控系统(SCADA)深度集成,保护装置可根据识别到的当前运行方式(如母线分/并列、电源投退状态)自动调用预设的最优定值组。更进一步,可探索应用人工智能算法,基于历史数据和实时工况预测未来短路容量,并动态调整保护定值区间,实现真正的智能防护。此外,必须建立严格的定期校核制度,实行“年度全面校核”与“重大事件触发校核”相结合的双轨机制,确保保护定值始终与系统实际状态匹配。

3.3 检修管理阶段:精准施策与闭环管控

检修作业是短路容量发生剧烈变动的高风险期。在制定检修计划前,必须进行详尽的风险评估,通过仿真软件模拟检修后的电网拓扑,精确计算各节点的短路容量,并全面校验所有相关保护的灵敏度与选择性。若发现保护性能不满足要求,应提前制定临时措施,如临时修改定值、投入专用的临时保护装置或调整运行方式^[4]。针对高短路容量区域,应将电流互感器的暂态性能纳入专项检测范围,定期进行伏安特性试验,验证其在最大预期短路电流下的线性度,必要时更换为TPY级暂态型CT或电子式互感器。每次因短路容量发生重大变化(如新电源投运)后,必须组织带负荷的六角图测试和故障模拟传动试验,从实证角度验证保护逻辑的正确性。最终,所有工作应纳入闭环管理,建立“短路容量-保护定值”联动台账,利用数字孪生技术构建虚拟厂网,支持所有定值

方案的在线仿真与版本追溯,形成可审计、可回溯的完整证据链。

4 结语

企业内部电网短路容量的动态变化已成为影响继电保护可靠动作的重要因素。本文系统分析了短路容量变化对各类保护配合关系的影响机理,并揭示了潜在风险。研究表明,仅依靠传统静态整定方法已难以满足现代厂网的安全需求。为此,本文提出了一套涵盖规划设计、运行维护和检修管理的全生命周期对策体系:在源头上强化弹性设计,在运行中引入智能监测与自适应整定,在检修中实施精准风险评估与闭环管控。未来,随着数字电网和人工智能技术的发展,基于实时短路容量感知的“自愈型”保护系统将成为提升企业电网韧性的关键方向。唯有将短路容量视为动态变量纳入保护管理体系,才能真正实现“故障隔离精准、供电恢复迅速、生产损失最小”的企业电网安全目标。

参考文献

- [1] 庞曙颖,周全贵,祁有年,等.电网短路电流计算及保护继电器调整研究[J].科技创新与生产力,2024,45(11):80-83.
- [2] 连宝晶.基于电网变电运维风险与技术检修的分析[J].云南电力技术,2025,53(02):71-74+78.
- [3] 邢益嘉,申晨,刘文旭.电网变电运维风险及检修技术分析[J].电力设备管理,2024,(20):38-40.
- [4] 杜伍文,臧伶俐.电网变电运维风险管控及技术检修措施研究[J].电工技术,2024,(S1):360-362+365.