

# 电力系统自动化继电保护技术分析

张瑞恒

河北建投任丘热电有限责任公司 河北 任丘 062550

**摘要:** 继电保护是电力系统关键安全防线,需自动、精准识别并隔离故障元件,执行中要遵循可靠性、速动性、选择性、灵敏性要求。现代继电保护关键技术包括自适应保护、广域保护、基于行波的故障测距技术。新一代智能变电站有独特架构,集成保护与控制系统优势明显。同时,电力电子化电网带来挑战,需优化保护策略。提升保护系统可靠性可采取冗余配置等措施,保护定值智能化管理能解决传统管理弊端,提高电网安全水平。

**关键词:** 电力系统自动化;继电保护;技术分析

引言:在电力系统规模不断扩大、结构日益复杂的当下,继电保护作为保障电网安全稳定运行的核心环节,其重要性愈发凸显。它不仅需要精准迅速地识别并隔离故障元件,还需严格遵循可靠性、速动性、选择性与灵敏性要求。随着技术发展,自适应保护、广域保护等关键技术不断涌现,新一代智能变电站架构、集成保护与控制系统也逐步应用。但电力电子化电网带来新挑战,提升保护系统可靠性、实现定值智能化管理成为当务之急。

## 1 继电保护的基本原理与要求

继电保护作为电力系统的关键安全防线,被誉为电力系统的“安全卫士”,其核心使命在于自动、迅速且精准地识别并隔离故障元件,从而将设备损坏程度与系统稳定性受影响的范围降至最低。其动作逻辑深深植根于对电力系统运行参数的全面、实时监测与智能判断,这些参数包括但不限于电流、电压的有效值与波形、相位关系以及系统频率等。一旦监测到这些参数出现异常,且其偏离正常范围的程度超出了预设的整定阈值,保护装置便会立即判定为故障发生,并迅速发出跳闸指令,以切断故障源与系统的联系。

为了确保这一使命的高效执行,继电保护系统必须严格遵循四项基本要求:(1)是可靠性,它涵盖了安全性和信赖性两个层面,安全性要求保护装置在故障发生时必须可靠动作,即“该动时必须动”;而信赖性则强调保护装置在非故障状态下不应误动作,即“不该动时不动”。(2)是速动性,它要求保护装置能在最短的时间内响应并切除故障,从而有效限制故障的扩散范围,减轻设备因长时间承受故障电流而遭受的损伤。(3)是选择性,保护装置应具备智能识别能力,仅切除故障元件,确保停电范围最小化,使系统的非故障部分能够继续稳定运行。(4)是灵敏性,它体现了保护装置对其

保护范围内发生的任何故障或不正常工作状态的敏锐反应能力,这种能力通常通过灵敏系数这一量化指标来衡量,确保保护装置能在故障初期即作出准确响应<sup>[1]</sup>。

## 2 现代继电保护的关键技术分析

### 2.1 自适应保护技术

在现代电力系统中,自适应保护技术作为继电保护领域的一项关键创新,展现出独特优势。(1)传统继电保护装置的整定值往往是预先设定且固定不变的,然而,随着电网规模不断扩大、结构日益复杂,电网拓扑和运行方式频繁改变成为常态。在此情况下,固定整定值的保护方式难以适应这些动态变化,在部分运行工况下,可能会出现灵敏度过高导致误动作,或者灵敏度不足而无法及时检测并切除故障的问题,给电力系统的安全稳定运行带来隐患。(2)自适应保护技术则突破了这一局限。它借助先进的通信技术和数据处理算法,能够实时获取电力系统的状态信息,涵盖网络拓扑结构、潮流分布等关键参数。基于这些实时数据,自适应保护装置可动态计算并调整保护定值、特性以及动作逻辑。通过这种方式,无论电网处于何种运行方式,自适应保护都能迅速、精准地做出反应,确保在最合适的时机切除故障,有效避免了传统固定定值保护在复杂运行环境下性能下降的问题,极大地提升了继电保护装置对复杂多变的电力系统运行方式的适应性和可靠性。

### 2.2 广域保护技术

在电力系统的保护领域中,广域保护技术是一项具有革命性意义的关键技术,它成功突破了传统局部保护的固有局限。传统局部保护主要聚焦于单个设备或局部区域的保护,在面对复杂的大电网故障时,往往难以全面、精准地把握系统整体状态,导致保护动作的协调性和有效性受限。(1)广域保护技术依托先进的广域测量系统(WAMS),借助同步相量测量单元(PMU)这一

关键设备,能够实时获取电网广阔区域内关键节点的同步相量信息,具体涵盖电压、电流相角等重要参数。这些海量且同步的全局信息,为全面、深入地分析电网运行状态提供了坚实基础。(2)通过对这些信息的综合分析,广域保护技术可以准确识别系统的稳定状态。在此基础上,它能够实现一系列高级功能,如对区域电网进行稳定控制,确保电网在各种工况下都能保持稳定运行;对后备保护进行协调优化,提高保护动作的可靠性和选择性;有效预防连锁故障的发生,避免故障的进一步扩大和蔓延。因此,广域保护技术无疑是构建大电网智能防御体系的核心支撑技术<sup>[2]</sup>。

### 2.3 基于行波的故障测距技术

在输电线路运行过程中,故障的精准定位对于快速恢复供电、保障电网稳定运行至关重要。当输电线路出现故障时,故障点会产生向线路两端快速传播的暂态行波信号,这些行波信号蕴含着故障位置的关键信息。

(1)基于行波的故障测距技术正是巧妙利用了这一特性。它通过高精度的传感器捕捉线路上的高频暂态行波,并对这些行波进行深入分析。由于行波在特定介质中的波速是恒定的,且其传播时间可以通过先进的技术手段精确测量,根据波速与传播时间的数学关系,就能够准确计算出故障点与测量点之间的距离,实现极高精度的故障定位,其定位误差通常能控制在小于300米的范围内。(2)与传统的基于工频量的测距方法相比,行波测距技术具有显著优势。它不受故障类型、过渡电阻大小以及系统运行方式变化的影响,无论线路发生何种故障,处于何种运行工况,都能稳定、准确地定位故障。这一特性使其尤其适用于长距离、高电压等级的输电线路,为运维人员快速巡线、精准修复故障提供了强有力的技术支撑,大大缩短了故障抢修时间。

## 3 继电保护的硬件与系统架构

### 3.1 新一代智能变电站架构特征

新一代智能变电站代表着继电保护技术发展的高级阶段,其显著标志是“三层两网”的独特架构,该架构融合了物理结构与信息逻辑分层理念。(1)在物理层面,过程层发挥着关键作用。它借助智能终端,达成对断路器、隔离开关等一次设备的数字化操控与状态精准采集。同时,利用合并单元对来自电子式互感器的电流电压信号进行同步处理,确保数据的准确性与及时性。

(2)间隔层的保护与测控装置直接接收数字化的采样值,摆脱了传统模式的束缚。并且,通过高速站控层网络,与变电站监控系统实现高效信息交互。这种架构设计,实现了对一次设备状态的全方位感知,以及二次系

统的深度融合集成。为保护装置获取更丰富、精确的系统运行信息提供了可能,进而为高级应用功能的实现筑牢了坚实的物理基础。

### 3.2 集成保护与控制系统

在数字化变电站蓬勃发展的进程中,集成保护与控制的系统架构应运而生。(1)这一创新架构突破了传统模式的局限,将原本分散、独立运行的保护、测量、控制、计量等诸多功能,高度集成于一个或多个统一的多功能硬件平台之上。(2)这种集成化设计带来了显著优势。它大幅减少了变电站内设备的数量,有效节约了宝贵的空间资源,同时降低了设备采购与维护成本。更重要的是,实现了信息的统一管理,避免了信息孤岛现象,为功能的协同优化创造了有利条件。(3)借助共享统一的数据源和硬件资源,集成系统能够促使保护与控制策略实现深度协同。这种协同作用对于实现变电站自动化高级应用至关重要,能够显著提升系统的整体性能,使变电站运行更加高效、稳定、可靠,是推动电力系统向智能化、自动化迈进的重要方向<sup>[3]</sup>。

### 3.3 保护装置的硬件构成

现代微机保护装置的硬件核心通常包括:(1)数据采集模块:负责接收并处理来自传统互感器或合并单元的模拟量或数字量信号,完成信号的滤波、采样和模数转换,为保护算法提供精确的数据基础。(2)中央处理模块(CPU):作为保护装置的运算与控制核心,负责执行所有的保护算法、逻辑判断、故障分析和管理工作,其处理能力直接决定了保护功能的复杂性和动作速度。(3)通信模块:是实现装置与外部系统互联的关键,负责按照标准规约与站控层监控系统、过程层设备及其他保护装置进行稳定、快速的数据交换,支持GOOSE、SV等服务的传输。(4)开入开出模块:负责接收外部开入量输入信号(如断路器位置、压板状态)和执行控制命令的输出(如跳闸、合闸及信号发布),通常采用光电隔离技术以确保强电与弱电回路之间的电气隔离和抗干扰能力。(5)人机交互模块(HMI):提供液晶显示、按键操作、指示灯指示等本地人机接口,便于运行人员进行定值查看与修改、信号复归、事件记录调阅等现场操作。

## 4 继电保护的挑战与优化策略

### 4.1 电力电子化电网带来的挑战

在电力行业蓬勃发展的当下,以风电、光伏为代表的分布式电源大规模接入电网,且均通过电力电子设备实现并网。(1)这类分布式电源的故障特性与传统同步发电机相比,存在着极为显著的差异。具体而言,其故

障时产生的电流幅值较低,谐波含量却相对较高,并且具有较强的受控性。(2)这些独特特性给继电保护带来了诸多难题。传统的过电流保护主要依据故障时电流的显著增大来动作,然而分布式电源故障电流低的特点,很可能导致过电流保护无法准确识别故障而失效。同时,高谐波含量会干扰距离保护对故障距离的测量,使得测量精度大幅下降。(3)面对这些挑战,保护策略必须做出相应调整,从以往基于工频量的分析方法,转变为对暂态特征和谐波分量进行深度挖掘,以此保障电力电子化电网的安全稳定运行<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 保护系统的可靠性提升

继电保护系统作为电网安全的关键防线,其可靠性直接关乎电网的稳定运行。为有效提升其可靠性,可采取以下针对性策略。(1)冗余配置是重要举措。通过采用主备双套或多套保护配置方式,当主保护装置因故障、老化等原因失效时,备用保护装置能够迅速投入运行,无缝承接保护功能,避免因单一装置故障导致保护缺失,为电网安全提供双重保障。(2)状态监测与自诊断功能不可或缺。保护装置需具备完善的自我监测能力,能够实时对硬件故障、程序异常以及通信中断等情况进行精准诊断,并立即发出告警信息。这有助于运维人员及时发现并处理问题,将故障影响控制在最小范围。(3)严格电磁兼容设计也十分关键。它能提高装置在复杂电磁环境下的抗干扰能力,确保保护装置在各种干扰条件下仍能准确动作。

#### 4.3 保护定值的智能化管理

在电力系统的继电保护领域,传统人工管理保护定值的方式存在诸多弊端,效率低下且极易出现人为错误,给电网安全稳定运行带来潜在风险。(1)定值智能化管理成为解决这一问题的有效途径。它借助先进的信息化技术构建定值管理系统,该系统能够实时在线校核

保护定值与电网实际运行方式的匹配程度。基于实时获取的电网运行数据,系统可实现定值的在线精准计算,确保定值始终与电网状态相适应。同时,支持远程下载功能,方便快捷地更新定值。(2)系统具备完善的版本管理能力,可对定值的不同版本进行详细记录和追踪。并且,通过安全校核机制,严格把控定值的合理性与安全性。通过形成定值全生命周期的闭环管理,从定值的初始设定到后续的调整、更新,都能实现科学、规范的管理,有效提升保护动作的正确性,进而提高电网运行的安全水平。

#### 结束语

继电保护作为电力系统的关键安全屏障,其技术发展及架构优化对于保障电网稳定运行至关重要。面对电力电子化电网带来的新挑战,自适应、广域保护及行波测距等关键技术提供了有力应对手段。新一代智能变电站架构与集成保护控制系统,进一步提升了保护系统的智能化与集成化水平。为应对复杂环境,需通过冗余配置、状态监测及电磁兼容设计提升可靠性,并借助定值智能化管理实现全生命周期闭环管控。未来,随着技术的不断进步,继电保护将更加精准、高效,为构建安全、可靠的智能电网提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]王啸宇,孙悦.电力系统智能化继电保护信息应用平台构建与应用[J].电工技术,2021,(13):164-165.
- [2]周利明.电力系统继电保护二次回路检修问题及对策探析[J].中国设备工程,2021,(12):169-170.
- [3]张宗莹,张福平,李岚.人工智能技术在电力系统继电保护中的应用[J].科技风,2021,(17):189-190.
- [4]蔡金寿.电力系统中的继电保护设备及其自动化技术分析[J].光源与照明,2020(9):47-48.