

# 电力系统的继电保护故障与对策分析

赵俊

杭州益瑞电力科技有限公司 浙江 杭州 311115

**摘要:** 本文首先阐述了继电保护的基本原理与核心功能,继而系统梳理了当前继电保护系统在实际运行中常见的故障类型,包括装置本体故障、二次回路故障、整定计算错误、通信异常及外部干扰等,并深入剖析了各类故障的成因与危害。在此基础上,本文结合现代技术发展趋势,从设备选型与维护、整定管理优化、抗干扰能力提升、智能诊断技术应用以及人员培训等多个维度,提出了针对性的对策与建议。研究表明,通过构建“预防为主、诊断为辅、快速响应、持续改进”的全生命周期管理体系,可显著提升继电保护系统的可靠性与智能化水平,为新型电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

**关键词:** 继电保护; 故障分析; 对策研究; 电力系统安全; 智能诊断; 整定计算

## 引言

电力是现代社会的基石,安全可靠供应关乎国家发展与社会稳定。继电保护系统是电力系统重要部分,堪称电网“免疫与神经系统”,核心任务是故障时快速、有选择地切除故障元件,缩小停电范围,防止事故扩大,助力非故障区域恢复供电。近年来,“双碳”战略推进使我国电力系统结构变革,特高压电网建设、分布式能源与储能并网、电力电子设备应用,让电网动态特性更复杂,故障特征多样化、非线性。传统继电保护原理与配置策略适应性不足、可靠性下降,且自身故障可能引发连锁反应,造成大面积停电及巨大损失。故深入研究继电保护系统故障机理、成因,提出应对策略,对提升电网本质安全意义重大。本文将全面梳理剖析常见故障类型,结合技术前沿构建综合防控体系,为电力系统安全稳定运行提供理论与实践指导。

## 1 继电保护系统概述

### 1.1 基本原理与功能

继电保护的基本原理是基于电力系统正常运行与故障状态下电气量(如电流、电压、功率、频率、阻抗等)的显著差异来实现的。当系统发生故障时,故障点的电气量会发生突变,继电保护装置通过实时监测这些电气量,并与预先设定的阈值(即整定值)进行比较,一旦判断满足动作条件,便会立即向对应的断路器发出跳闸指令。继电保护的核心功能可概括为“四性”:一是选择性:指保护装置仅动作于故障设备或线路,尽可能缩小停电范围。二是速动性:指保护装置能以最短的时间切除故障,减轻设备损坏程度,维持系统暂态稳定。三是灵敏性:指保护装置对保护范围内发生的各种类型故障有足够的反应能力。四是可靠性:指保护装置

在需要动作时可靠动作(不拒动),在不需要动作时可靠不动作(不误动)。

### 1.2 系统构成

一个完整的继电保护系统通常由以下几个部分构成:(1)测量元件:如电流互感器(CT)、电压互感器(PT),用于将一次侧的高电压、大电流转换为二次侧可供保护装置使用的低电压、小电流信号。(2)保护装置:现代多为微机型或数字化保护装置,是系统的核心,负责信号采集、逻辑运算、故障判别和出口控制。(3)逻辑与出口回路:执行保护装置的指令,驱动断路器跳闸线圈。(4)通信网络:在现代智能变电站中,保护装置通过IEC61850等标准协议与其他智能电子设备(IED)进行信息交互,实现纵联保护、远方跳闸等功能。(5)辅助电源:为保护装置及其回路提供稳定可靠的直流工作电源。

## 2 继电保护系统常见故障类型及成因分析

### 2.1 装置本体故障

这是指保护装置内部元器件老化、损坏或软件缺陷导致的功能失效。(1)硬件故障:包括CPU、存储器、A/D转换芯片、电源模块等关键部件的物理损坏。例如,电源模块纹波过大可能导致装置重启或采样失真;A/D转换器精度下降会直接影响保护判据的准确性。(2)软件故障:程序逻辑错误、内存溢出、死循环等<sup>[1]</sup>。这类故障往往具有隐蔽性,可能在特定工况下才被触发,排查难度大。(3)固件/版本问题:不同版本的保护程序可能存在兼容性问题或已知的BUG,在升级或更换过程中若管理不当,极易引发误动或拒动。

### 2.2 二次回路故障

(1)接线错误:在基建、技改或检修后,由于施工

人员疏忽,可能出现CT/PT极性接反、相序接错、出口回路短接或开路等问题。这是导致保护误动或拒动的常见人为原因。(2)绝缘劣化:电缆长期运行受潮、老化,或遭受小动物啃咬,导致回路对地或相间绝缘电阻下降,可能引入干扰信号或造成直流接地,进而引发保护误动。(3)接触不良:端子排松动、继电器触点氧化等,会造成回路电阻增大,信号传输失真,严重时可能导致保护拒动。

### 2.3 整定计算与管理错误

(1)参数录入错误:在整定计算软件中,若录入的线路参数(如阻抗、长度)、变压器参数或系统运行方式有误,将导致计算出的整定值偏离实际需求。(2)配合失当:上下级保护之间、主保护与后备保护之间的时限和定值配合不合理,可能造成越级跳闸(选择性丧失)或保护范围不足(灵敏性不足)。(3)未及时更新:电网结构发生变化(如新增线路、负荷转移)后,未能及时对相关保护定值进行复核和调整,使原有定值不再适用新的运行方式。

### 2.4 通信与通道异常

在依赖通信的保护(如光纤纵差、高频保护)中,通道问题是主要风险点。(1)通道中断:光纤断裂、接口板卡故障、通信设备掉电等会导致纵联保护失去闭锁或允许信号,可能造成区内故障拒动或区外故障误动。(2)通道延时/误码:通道质量差,存在较大延时或误码率,会影响保护动作的速动性和正确性,尤其对于要求严格同步的差动保护而言。

### 2.5 外部干扰与特殊工况

复杂的电磁环境和特殊的电网运行状态也会对保护构成挑战。(1)电磁干扰(EMI):变电站内强大的操作过电压、雷电冲击、无线电发射设备等产生的电磁场,可能耦合进二次回路,干扰保护装置的正常工作。(2)CT/PT饱和:在严重故障或含有大量非周期分量的情况下,CT可能深度饱和,导致二次电流严重畸变,使基于电流的保护(如差动、距离保护)无法正确识别故障<sup>[2]</sup>。(3)谐波与直流分量:新能源发电、电力电子设备会产生大量谐波,系统故障时也会产生直流分量,这些都可能导致保护的滤波算法失效,导致误判。(4)弱馈/振荡:在长距离输电或系统联络薄弱的情况下,系统振荡或弱馈侧故障可能导致距离保护、方向保护等出现超越或拒动。

## 3 提升继电保护可靠性的综合对策

### 3.1 强化设备全寿命周期管理

提升继电保护可靠性,必须从设备源头抓起,并贯

穿其整个服役周期。在设备选型与入网阶段,应建立严格的准入机制,不仅关注装置的基本功能指标,更要对其硬件设计冗余度、元器件品质等级、软件架构健壮性以及抗电磁干扰能力进行全方位评估和测试,确保入网设备具备高可靠性基础。进入运行阶段后,应逐步摒弃“到期必修”的传统定期检修模式,转向基于状态的预测性维护。通过充分利用现代微机保护装置自带的自诊断功能(如电源监测、RAM/ROM校验、通信状态指示等),结合定期的专业检验数据,构建设备健康状态评估模型。运维人员可根据评估结果,对状态良好设备延长检修周期,对存在潜在风险的设备提前安排针对性检查或更换,从而实现资源优化配置和风险精准防控。对于服役年限较长、技术落后或故障率偏高的老旧保护装置,应建立科学的退役评估体系,综合考虑其安全风险、维护成本和技术替代可行性,制定强制更新计划,避免因设备老化成为系统安全的短板。唯有将管理视角从“被动消缺”延伸至“主动预防”,才能真正实现设备全寿命周期内的高可靠运行。

### 3.2 优化整定计算与管理流程

整定计算的准确性与管理流程的闭环性是保障保护正确动作的基石。为此,亟需推动整定工作从经验驱动向数据与平台驱动转型。应着力构建一体化的智能整定计算平台,该平台能够自动同步最新的电网拓扑模型和设备参数,内置标准化的计算规则库,并能自动完成定值计算、灵敏度校验、上下级配合校核等复杂任务,最大限度减少人工干预带来的疏漏。在此基础上,可进一步探索动态整定技术,即利用广域测量系统(WAMS)或调度自动化系统提供的实时运行数据,使保护定值能够根据电网当前的实际结构和潮流分布进行在线微调,从而更好地适应电网的动态变化<sup>[3]</sup>。然而,再精确的计算也需依赖于严格的执行。因此,必须强化整定管理的闭环控制,建立从定值单编制、多级审核、正式批准、现场执行、执行后核对到最终归档的全流程标准化作业指导书,并辅以信息化手段进行流转跟踪与痕迹管理,确保“纸上定值”与“现场定值”绝对一致,杜绝因执行偏差导致的保护失效。

### 3.3 提升抗干扰与应对特殊工况能力

面对复杂的电磁环境和多样化的电网故障形态,必须从设计、施工到算法多个层面协同发力,提升保护系统的鲁棒性。在工程实施层面,应严格执行反事故技术措施,优化二次回路设计,例如将强电与弱电回路物理隔离、采用双层屏蔽电缆并确保屏蔽层单端可靠接地、合理规划电缆路径以远离干扰源等。同时,加强施工过

程的质量管控和竣工验收,确保每一根线、每一个端子都符合规范。在核心技术层面,应大力研发和推广应用能够有效应对CT饱和、谐波污染、系统振荡等挑战的先进保护原理。例如,基于故障分量、行波或暂态能量的保护方法对工频量畸变不敏感;利用数学形态学、小波变换或深度学习等技术构建的新型滤波与特征提取算法,能更准确地从噪声中分离出故障信息;而结合系统模型进行状态估计的自适应保护,则有望在振荡与故障间做出更可靠的判别。此外,所有新投运的保护装置都必须通过严苛的电磁兼容(EMC)型式试验和现场抽检,确保其在真实电磁环境下依然能够稳定工作。

### 3.4 应用智能诊断与大数据分析技术

数字化和智能化浪潮为继电保护运维模式带来了革命性机遇。依托智能变电站完善的通信架构,可以构建覆盖全网的继电保护信息主站系统,实时汇集各保护装置的动作报告、故障录波、自检告警、运行状态等海量异构数据。在此基础上,运用大数据分析 with 人工智能技术,开发智能诊断专家系统。该系统能够对历史故障案例进行深度学习,建立涵盖各类故障模式(包括系统故障和保护自身故障)的知识图谱。当电网发生扰动或保护动作后,系统可自动调取相关数据,进行多维度关联分析,快速判断保护行为是否正确,并初步定位异常根源,将原本需要数小时甚至数天的人工分析过程缩短至分钟级<sup>[4]</sup>。更重要的是,通过对装置长期运行数据的趋势挖掘,如电源电压波动、通信丢帧率变化、CPU负载异常等,系统能够实现对潜在硬件劣化或软件隐患的早期预警,推动运维模式从“故障后响应”向“风险前预防”转变,从根本上提升系统的主动防御能力。

### 3.5 加强人员培训与标准化建设

继电保护工作专业性强、细节要求高,任何微小的疏忽都可能酿成重大事故。因此,必须持续深化专业人才队伍建设。一方面,要建立常态化的、分层次的培训体系,不仅要夯实员工对基础理论和经典原理的掌握,更要紧跟技术发展前沿,加强对智能变电站运维、新型保护原理、故障录波分析、网络安全等新知识、新技能的培训,并通过仿真演练、案例复盘等方式提升实战能

力。另一方面,必须不断完善和严格执行技术规程与作业标准。应及时修订《继电保护及安全自动装置技术规程》《防止电力生产事故的二十五项重点要求》等相关文件,将最新的技术成果和反措要求固化为可操作的标准流程。同时,通过制度建设和企业文化引导,大力弘扬“严、细、实”的工作作风,培养从业人员对规程的敬畏之心和对细节的极致追求,将“零差错”理念内化于心、外化于行,为继电保护系统的万无一失提供最坚实的人力保障。

## 4 结语

继电保护系统的可靠性是电力系统安全生命线。面对日益复杂的电网结构和运行环境,继电保护所面临的故障风险呈现出多元化、隐蔽化的特点。本文系统地分析了装置本体、二次回路、整定管理、通信通道及外部干扰等五大类故障的成因与危害,并据此提出了一套涵盖设备管理、整定优化、技术升级、智能诊断和人员素质提升的综合性对策体系。未来,随着人工智能、数字孪生、5G通信等新技术的深度融合,继电保护将向更加自适应、自愈合、智能化的方向发展。然而,无论技术如何演进,“人”始终是保障系统可靠性的最终决定因素。只有将先进的技术手段与严谨的管理制度、高素质的专业队伍紧密结合,构建起覆盖规划、设计、制造、安装、调试、运行、维护全链条的立体化防护网络,才能真正筑牢电力系统安全稳定运行的坚固屏障,为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系保驾护航。

## 参考文献

- [1]牛贞贞.基于电力系统继电保护及自动化故障风险研究[J].电力设备管理,2025,(16):232-234.
- [2]李博宇,王树义,孙浩钧.电力系统继电保护的故障及其处理策略研究[J].科技资讯,2025,23(15):56-58.
- [3]张博华.电力系统继电保护故障分析与安全控制[J].大众用电,2025,40(04):46-47.
- [4]王晨星,李珂明,魏倩.电力系统继电保护故障检测与维修技术研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.第八届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集.国网陕西省电力有限公司西安供电公司,2025:549-551.